Untersuchungen über die räumliche Verteilung der Dosis bei Röntgenschichtaufnahmen

von

HERMANN KLEMS

196 c

Aus Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie
und Röntgenologie der Universität München
Rieder-Institut
Direktor: Prof. Dr. H. v. Braunbehrens

- -

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE RÄUMLICHE VERTEILUNG DER DOSIS BEI RÖNTGENSCHICHTAUFNAHMEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hermann Klems
aus
Dortmund

1962

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Referent:
Priv.Doz. Dr. med. F. E. Stieve

Korreferent:
Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens

Dekan:
Professor Dr.med. W. Seitz

Tag der mündlichen Prüfung: 16.1.1962

Fotodruck: Mikrokopie G.m.b.H. München 2, Weinstr. 4

Inhalt

		Seite
I.	Einleitung	1
II.	Die Dosis und die damit zusammenhängenden röntgenphysikalischen Begriffe	2
III.	Das Röntgenschichtverfahren	8
	1.) Prinzip der röntgenographischen Darstellung von Körperschichten	8
	2.) Die in der Praxis angewandten Verfahren der röntgenographischen Darstellung von Körperschichten	10
	A) Der Zusatz-Planigraph Siemens	11
	B) Das Gerät Polytome der Firma Massiot mit ein- und mehrdimensionaler Verwischung	12
	3.) Simultan-Schichtverfahren	13
IV.	Die Dosisverteilung bei der Bewegungsbestrahlung im Vergleich zu der bei der Schichtdiagnostik	15
V.	Eigene Versuche	
	1.) Verwandte Geräte	18
	2.) Versuchsanordnung	21
	3.) Ergebnisse	22
VI.	1.) Besprechung der Ergebnisse	23
	2.) Zusammenfassung der Ergebnisse	26
VII.	Zusammenfassung	27
	Literaturverzeichnis	30

I. EINLEITUNG

Durch die Verwendung der Atomenergie für friedliche und kriegerische Zwecke sowie die schon weitgehende Anwendung radioaktiver Isotope ist das Problem der Schäden, die durch ionisierende Strahlen auftreten, in der letzten Zeit eingehend erörtert worden. Dies besonders darum, weil durch die Diskussion um die Atombomben auch die breite Öffentlichkeit Kenntnisse über die Wirkung ionisierender Strahlen erhalten hat. In diesem Zusammenhang wurden die möglichen Strahlenwirkungen auf ihre Wertigkeit hin diskutiert. Dabei konnte festgestellt werden, daß neben der Grundstrahlung zur Zeit die röntgendiagnostischen Maßnahmen noch immer den weitaus größten Teil der Gesamtbelastung der Bevölkerung durch ionisierende Strahlen ausmachen. Die bisher vorliegenden Arbeiten, Berichte und Zusammenstellungen, insbesondere der Bericht der International Commission on Radiological Protection (19), des medizinischen Forschungsrates in Großbritannien (7), der Vereinten Nationen über die Strahlenbelastung des Menschen, die zusammenfassenden Arbeiten von LARSSON (28), SEELENTAG (37, 39, 40) u.a. (17, 29) enthalten im wesentlichen statistische Angaben über die Strahlenbelastung des Menschen bei röntgendiagnostischen Maßnahmen, die auf größeren Meßreihen in den einzelnen Ländern basieren. Dabei lag naturgemäß der Schwerpunkt der Messungen bei denjenigen Untersuchungen, die den Hauptteil der Röntgenuntersuchungen ausmachen bzw. wegen der Gonadennähe hohe Dosen an den Fortpflanzungsorganen zeitigen. Über die Strahlenbelastung durch Spezialuntersuchungen, wie z.B. durch Röntgenschichtuntersuchungen, fehlen jedoch noch wesentliche Einzelheiten. Dabei ist es notwendig, gerade die Strahlenbelastung bei Schichtaufnahmen näher zu prüfen, denn diese Untersuchungsart ist in Fachpraxen und klinischen Röntgenabteilungen ebenfalls relativ weit verbreitet. Im Institut und Poliklinik für physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München wird sie mit vier Geräten ausgeführt, ihr Anteil an der Gesamtdiagnostik durch Röntgenaufnahme betrug in den letzten Jahren nach den statistischen Erhebungen von SHEN etwa 3,5 %. Dabei

ist zu berücksichtigen, daß bei einer Schichtaufnahme, wie schon der Name sagt, jeweils nur eine bestimmte Schicht dargestellt wird, zur Untersuchung eines Körperabschnittes also immer eine größere Anzahl von Aufnahmen erforderlich ist. Außerdem ist bei einzelnen Erkrankungen, wie z.B. Lungentuberkulose, die immer noch ein Hauptanwendungsgebiet für Schichtuntersuchungen darstellt, der Anteil jüngerer Personen relativ hoch. Die Dosisverhältnisse bei Schichtung bedürfen auch deshalb einer eingehenden Untersuchung, weil hier durch die Eigenart des Untersuchungsverfahrens während der Röntgenaufnahme vom System Röhre - Patient - Film nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten zwei Elemente bewegt werden. Die Dosisverteilung auf der Oberfläche und im Körper könnte sich deshalb anders verhalten als bei normalen Aufnahmen, bei denen während der Exposition keine Bewegungen ausgeführt werden. Diese Arbeit soll sich deshalb mit der Dosisverteilung bei tomographischen Aufnahmen im Körper im Bereich des Nutzstrahlenkegels und seiner unmittelbaren Umgebung befassen.

II. EINIGES ÜBER DIE DOSIS UND DIE DAMIT ZUSAMMENHÄNGENDEN RÖNTGENPHYSIKALISCHEN BEGRIFFE

Die Röntgendosis wird heute fast ausschließlich durch die wichtigste physikalische Wirkung, die Ionisation, gemessen. Dementsprechend ist auch ihre Maßeinheit, das "r" (Röntgen), definiert:

1 r ist diejenige Strahlenmenge, die in 0,001293 g Luft (= 1 ml Luft bei 760 mm Hg und 0^{o}) soviel Ionen erzeugt, daß dadurch 1 elektrostatische Einheit beider Vorzeichen transportiert wird. Damit stellt es eine speziell auf die Ionisation abgestellte Einheit dar, die erst in neuerer Zeit auf andere Meßprinzipien übertragen wurde. Trotzdem ist auch heute noch das gebräuchlichste Verfahren, Röntgenstrahlen zu messen, die Ionisationsmessung.

Das Prinzip der Ionisationsgeräte besteht darin, den Ionisations-

strom oder eine durch die Ionisation beeinflußte Spannung bzw. Ladung zu messen.

Da in der Röntgendiagnostik in vielen Fällen Dosen auftreten, die beträchtlich unter 1 r liegen, wird hier meist die Dosiseinheit 1 Milliröntgen (mr) = 1/1000 r verwendet.

Die Höhe der Dosis ist bei Röntgenstrahlen abhängig von der Strahlenqualität (bestimmt durch Erzeugerspannung und Filterung), der Stromstärke, der Zeit, dem Abstand des Meßorts von der Strahlenquelle und dem Medium, das die Strahlung vom Entstehungsort bis zum Meßort durchdrungen hat. Die einfachste Beziehung besteht dabei zu Stromstärke und Zeit, denen die Dosis direkt proportional ist, und dem Abstand, dessen Quadrat sie bei Durchgang durch Luft annähernd umgekehrt proportional ist, während sie sich mit der Spannung je nach deren Bereich in der 5. bis 8. Potenz ändert. Je nach dem Ort, an dem man die Dosis mißt, wird sie verschieden benannt. Im Strahleneintrittsgebiet spricht man von der Einfallsdosis. Sie ist im allgemeinen, zumindest in der Röntgendiagnostik, die höchste Dosis am Patienten. Die Herddosis, ein besonders in der Strahlentherapie verwendeter Begriff, bezeichnet die in einem bestimmten Bezirk applizierte Strahlenmenge. Die Austrittsdosis ist diejenige Strahlenmenge, die nach Durchtritt durch das Objekt noch vorhanden ist, und die Filmdosis ist diejenige Strahlenmenge, die zur Erzeugung eines Röntgenbildes genutzt wird, gleichgültig ob die Bilderzeugung durch Röntgenstrahlen direkt erfolgt oder auf dem Umweg über die Lichtwirkung einer sogenannten Verstärkerfolie.

Besonders in der Röntgentherapie wird schließlich noch der von MAYNEORD (31) geprägte Begriff der Raumdosis verwendet, unter dem man das Produkt aus Gesamtdosis im Volumen x dem Volumen versteht.

Beim Durchgang durch Materie erfahren die Röntgenstrahlen eine Schwächung durch Streuung und Absorption. Diese Schwächung ist dabei, abgesehen von der Qualität der Strahlung, die ihrerseits wieder von der Erzeugerspannung und der Filterung bestimmt wird (12), von der Materie selbst, der Stellung ihrer Elemente im peri-

odischen System (effektive Ordnungszahl), von der Dichte und von der Dicke des Objekts abhängig.

Betrachten wir zunächst den Vorgang der Streuung, so können wir feststellen, daß bei langwelligen (= energiearmen) Strahlen ein Teil der Strahlung durch Aufprall in der Materie ohne Energieabgabe abgelenkt wird. Ihre Wellenlänge ändert sich dabei nicht. Je energiereicher jedoch die Strahlung wird, desto häufiger tritt ein Vorgang auf, den COMPTON zuerst beschrieben hat: Beim Aufprall eines Röntgenquants auf ein Atom wird ein Teil der Energie auf ein Elektrom übertragen, der Rest der Strahlung wird gestreut, wobei ihre Frequenz kleiner und sie dabei langwelliger wird. Im Gegensatz zur erstgenannten sogenannten klassischen Streuung, die in allen Richtungen verläuft, ist die Comptonstreuung mehr in Richtung des Primärstrahls ausgerichtet. Durch das Hinzutreten der Streustrahlung im Gewebe zur Primärstrahlung kann je nach Spannung im Objekt ein Bezirk mit einer gegenüber der Oberfläche erhöhten Strahlendosis auftreten. In welcher Objekttiefe dieser Bezirk liegt, hängt wiederum von der Qualität der Strahlung ab.

Bei der Absorption überträgt das Röntgenquant seine Energie aus dem Atom heraus; da dies in einer inneren Bahn geschieht, fallen äußere Elektronen auf diese innere Bahn und geben durch die freiwerdende Energie wiederum ein Röntgenquant nach außen ab. Das freigewordene Elektron stößt seinerseits wieder mit anderen Atomen zusammen, löst dort solange weitere Elektronen, sogen. Sekundärelektronen, heraus, bis seine Energie verbraucht ist.

Dabei ist der in der Materie absorbierte Anteil der Strahlung abhängig von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen. Je langwelliger die Röntgenstrahlen sind, desto stärker werden sie in den einzelnen Medien absorbiert. Ebenso ist die Absorption umso größer je dichter die Atome und Moleküle zusammenliegen und je höher die Ordnungszahl des Elements ist, aus dem das Medium besteht.

Auf der unterschiedlichen Absorption der Röntgenstrahlen im Ge-

webe, sei es durch die unterschiedliche Dichte (z.B. in der Lunge, wo sich die effektiven Ordnungszahlen der Elemente kaum unterscheiden), sei es durch unterschiedliche Elemente (z.B. zwischen Weichteilen und Knochen), beruht die Möglichkeit, einzelne Organe oder Organteile im Röntgenbild sichtbar zu machen.

Wenn auch bei den in der Röntgendiagnostik verwendeten Strahlenqualitäten die klassische Streuung vorherrscht und damit die Strahlenqualität der Streustrahlen im Prinzip gegenüber der Direktstrahlung nicht geändert ist, so bestehen doch in der Praxis gewisse Unterschiede zwischen der Strahlenqualität der Nutz- und der Streustrahlen.

Auf der Strahleneintrittsseite ist das Qualitätsmaximum der Streustrahlung langwelliger als das der Nutzstrahlung, da von den weichen Strahlenqualitäten mehr in der Oberfläche geschwächt, d.h. absorbiert oder gestreut werden als von den härteren. Auf der Strahlenaustrittsseite ist das Gegenteil die Regel, da die Streustrahlung, welche den Film erreicht, einen weiteren Weg im Körper zurücklegt als die Direktstrahlung und dadurch ihr weicherer Anteil stärker geschwächt wird. Im Körper ist also die Qualität sowohl der Primärstrahlung als auch der Streustrahlung ortsabhängig.

Auf der Absorption bzw. der Ionisation beruht ebenso die biologische Wirkung der Röntgenstrahlen, welche die Strahlenschädigung einschließt (36).

Die Dosisverteilung bei ionisierender Strahlung innerhalb des Körpers ist bis jetzt hauptsächlich unter therapeutischen Gesichtspunkten untersucht worden. Denn hier wird ja versucht, in einem bestimmten Körperbezirk eine bestimmte Dosis unter möglichster Schonung der Umgebung zu applizieren (CHAOUL 10). Zur bildlichen Darstellung dieser Verteilung bedient man sich dabei der sogenannten Isodosenkurven. Diese Kurven verbinden alle Punkte eines bestrahlten Volumens oder einer bestrahlten Fläche, an denen in gleicher Zeit die gleiche Dosis erreicht wird. Allgemein ist es dabei üblich, die Schnitte der Isodosen in zwei aufeinander senk-

rechten Ebenen anzugeben. Da festgestellt wurde, daß Wasser eine ähnliche Absorption hat wie nicht lufthaltiges Gewebe, wurden diese Messungen der Einfachheit halber häufig in Wasserphantomen ausgeführt, die meist die Form des zu untersuchenden Körperabschnittes besitzen (27).

Bei der Anwendung der Röntgenstrahlen zu diagnostischen Zwecken liegt im Gegensatz zur Therapie, wo die dosimetrische Betrachtung am Herd und an der Einfallsstelle erfolgt, eine gänzlich andere Problemstellung vor als in der Röntgentherapie. Hierbei kommt es auf die Strahlung an, die den Körper durchdrungen hat und auf der photographischen Schicht ein Bild erzeugt. Die Betrachtung erfolgt also hier unter dem Gesichtspunkt der Filmbelichtung, und zwar in dem Sinne, daß für jede Röntgenaufnahme unabhängig vom Objekt eine praktisch stets gleiche Röntgendosis am Film erreicht werden muß, deren Höhe von der Empfindlichkeit des photographischen Materials und der Folie abhängt. Die Dosis, die der Körper dadurch erhält, ist sozusagen ein störender Faktor, der die Zahl der möglichen röntgendiagnostischen Maßnahmen begrenzt, da im allgemeinen eine bestimmte Oberflächendosis nicht überschritten werden soll. Aus diesem Grund ist man bestrebt, alle technischen Möglichkeiten auszunutzen, die bei geringst möglicher Strahlenbelastung des Patienten zu guten Röntgenaufnahmen führen bzw. Maßnahmen zu vermeiden, bei denen die Strahlenbelastung im Hinblick auf den diagnostischen Nutzen nicht gerechtfertigt erscheinen.

Dazu ist es natürlich notwendig, die Belastung bei den verschiedenen Maßnahmen zu kennen. Die bisherigen Untersuchungen beschränkten sich im wesentlichen auf die Oberflächendosis und die Gonadendosis. Diese stellen zwar die beiden vom Gesichtspunkt der Strahlenbelastung bedeutsamsten Merkmale dar, sind jedoch nicht allein ausschlaggebend. Eine wesentliche Rolle spielt auch hier die bereits erwähnte Raumdosis. Zu ihrer Bestimmung sind in jüngster Zeit einige Geräte entwickelt worden, die die Einfalls-

dosis x eingestrahlter Fläche messen. Aus diesem Maß läßt sich bei bekannter Strahlenqualität überschlagsweise die Raumdosis in Röntgenliter errechnen. Sie findet vor allem bei Durchleuchtungen, bei denen die Strahlenbelastung durchschnittlich höher ist als bei Aufnahmen, Verwendung. Bei Aufnahmen und vor allem Röntgenschichtuntersuchungen sind diese Meßsysteme jedoch noch nicht zu verwenden.

Für die normale Röntgenübersichtsaufnahme liegen einige Untersuchungen über die Raumdosis vor (FRIK, JOHNS, KLOTZ und SEELENTAG - 9, 21, 24, 41). Die letztgenannten Autoren stellten dabei Isodosen unter röntgendiagnostischen Strahlenbedingungen auf, allerdings in einem Fokus - Haut-Abstand von 35 cm, wie er in der Röntgendiagnostik bei Zielaufnahme verwendet wird, während er bei den Übersichtsaufnahmen wesentlich höher ist, etwa 80 bis 130 cm. Abgesehen davon bezieht sich der größere Teil der Messungen auf eine konstante Einfallsdosis und nur ein kleinerer Teil auf eine konstante Austrittsdosis. Die Eintrittsdosis hat aber unter verschiedenen Aufnahmebedingungen und bei verschiedenen Objekten kein konstantes Verhältnis zur Austrittsdosis und die Austrittsdosis verläuft wiederum bei verschiedenen Strahlenqualitäten nicht parallel zur Filmdosis, wenn zwischen Objekt und Film sogenannte Streustrahlenraster geschaltet werden, die zur besseren Bildgebung die aus dem Objekt austretende Streustrahlung vermindern.

Diese Streustrahlenraster absorbieren nicht nur Streustrahlen, sondern schwächen auch die Primärstrahlung, so daß die Belichtungszeit bei ihrer Verwendung verlängert werden muß. Da auch hier die Strahlenschwächung um so geringer ist, je höher die Spannung gewählt wird, ist also dieser Verlängerungsfaktor spannungsabhängig.

Im übrigen liegen bei der Übersichtsaufnahme auch Vergleiche mit der Stehfeldtherapie nahe, vor allem der Form der Tiefentherapie, die mit ähnlichen Strahlenqualitäten arbeitet, wie sie in der Röntgendiagnostik verwendet werden, der sogenannten Halbtiefen-

therapie. Dies gilt jedoch nicht ohne weiteres für das Röntgenschichtverfahren. Denn hier unterscheiden sich die technischen und physikalischen Gegebenheiten beträchtlich.

III. WESEN DES RÖNTGENSCHICHTVERFAHRENS

Der Grundgedanke des Körperschichtverfahrens wurde erstmalig von André Edmond Marie BOCAGE in einer französischen Patentschrift aus dem Jahre 1921 niedergelegt. In der Folgezeit sind eine ganze Reihe von Methoden und Apparaturen zur Herstellung von Körperschichtaufnahmen angegeben worden.

1.) Prinzip der röntgenographischen Darstellung von Körperschichten

Das Verfahren gestattet die isolierte photographische Darstellung einer wählbaren Körperschicht unter weitgehendem Ausschluß der davor und dahinter liegenden Objekte. Dieser Effekt wird stets erreicht durch die koordinierte Bewegung zweier Komponenten des Systems: Röhre - Objekt - Film. Das am meiste.. verwendete Grundprinzip des Schichtverfahrens mit Bewegung von Röhre und Film erläutert Abb. 1 (13). Während der Exposition wird der Röhrenfokus von f 1 nach 2 bewegt. In der gleichen Zeit legt die Kassette den Weg von k 1 nach k 2 zurück. Diese Bewegung findet um den gedachten Drehpunkt d statt. Die zum Film parallele Ebene, deren Höhe durch die Lage dieses Punktes d bestimmt ist, bezeichnet man als Schichtebene, obgleich von einer Abbildung einer mathematisch definierten Ebene keineswegs die Rede sein kann.

Aus der Abb. 1 ist weiterhin ersichtlich, daß infolge der synchronen Bewegung von Fokus und Film Objekte, die in der Schichtebene gelegen sind, auf dem Film immer an der gleichen Stelle projiziert, also scharf abgebildet werden (Dreieck). Anders ist es mit Objekten

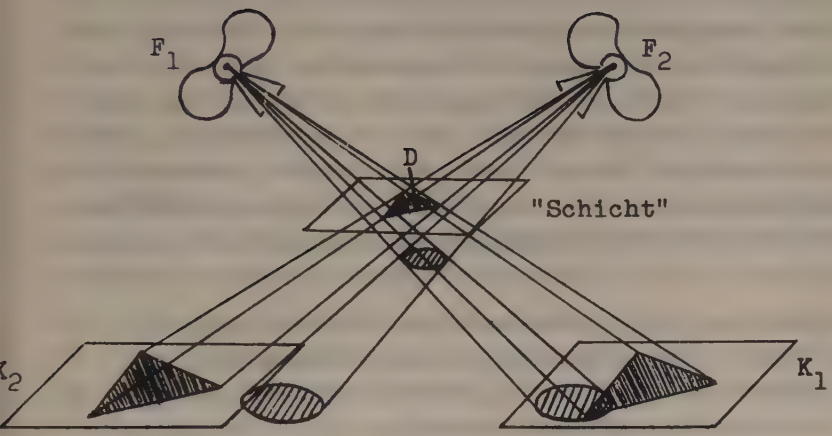

Abb. 1

Grundprinzip des Schichtverfahrens bei Bewegung von Röhre und Film (nach R. Griesbach und F. Kemper).

(Kreis), die außerhalb der Schichtebene liegen. Es wird somit auf einer Vielzahl von Filmstellen nur unterschwellig abgebildet und kommt damit nicht zur Darstellung.

Daher ist das Resultat am Ende der Aufnahmebewegung die scharfe Abbildung aller Punkte nur der Schichtebene. Die darüber und darunter liegenden Objektpunkte sind verwischt. Dieses Prinzip kann sinngemäß auf die Bewegung zweier anderer Komponenten des Systems, z.B. Objekt und Film, angewandt werden, ein Weg, den BOZZETTI zum erstenmal beschritt. Aus diesen Erläuterungen des Prinzips der Schichttechnik lassen sich auch die grundsätzlichen Unterschiede zwischen der Untersuchung mit Übersichtsaufnahmen und der durch das Schichtverfahren erkennen, die eine gesonderte Betrachtung der Dosisverhältnisse notwendig erscheinen lassen:

a) Da bei einer Schichtaufnahme nur eine sehr dünne Schicht (etwa 1 bis 3 mm je nach Schichtwinkel) scharf dargestellt wird, sind für jede Untersuchung meist mehrere Aufnahmen notwendig.

b) Durch die Bewegung der Röhre während der Aufnahme vergrößert sich bei der Schichtaufnahme das Strahleneintrittsfeld gegenüber einer gleich großen Übersichtsaufnahme, gleichzeitig verteilt sich die Einfallsdosis auf ein größeres Gebiet und die Dosisverteilung auf der Oberfläche wird ungleichmäßig.

c) Die Röntgenstrahlen nehmen nicht nur den kürzesten Weg durch das Objekt, sondern durchstrahlen je nach dem Strahleneinfallwinkel eine größere Strecke innerhalb des Körpers.

d) In der Mehrzahl der Fälle wird bei der Schichtaufnahme ein kleineres Aufnahmeformat gewählt als bei der Übersichtsaufnahme, da sie ja zur genaueren Analyse nur eines bestimmten Bereichs des in der Übersichtsaufnahme dargestellten Objekts dient.

2.) Die in der Praxis angewandten Verfahren zur röntgenographischen Darstellung von Körperschichten

Die Vielzahl der möglichen Bewegungen der Systemkomponenten Röhre - Objekt - Film erklärt die große Zahl der angegebenen Geräte, der Behelfs- und Zusatzgeräte. Dazu kommt, daß auch noch für die Form der Bewegung eine Unzahl von Möglichkeiten besteht. Auch hierüber sind eine Reihe eingehender Untersuchungen angestellt worden. Vor allem haben GROSSMANN (14, 15), STIEVE (42) und VIETEN (44, 45, 46, 47 u. 48) in Deutschland und KIEFER (22, 23) sowie ANDREWS (1, 2, 3) in Amerika sich mit einer Analyse der günstigsten Bewegungsmöglichkeiten auseinandergesetzt.

Als technisch gut durchführbare Möglichkeiten bei der Bewegung von Röhre und Film haben sich die gradlinige, die kreisförmige, die spiralige, die hypocycloidale, die elliptische, die kleeblattförmige und die in Form einer Sinuskurve verlaufende Bewegung erwiesen. Welche dieser Möglichkeiten nun die absolut beste ist, kann nicht allgemein bestimmt werden; es kommt vielmehr auf die Art des zu untersuchenden Objektes an. Nach den geometrischen Untersuchungen von STIEVE (42), die auf den Erkenntnissen DE WAARDS basieren, gibt diejenige Bewegung den besten Verwischungsgrad, die sowohl möglichst nah am Mittelpunkt vorbeigeht als auch mehrdimensional erfolgt. Dies ist die hypocycloidale Bewegung nach SANS und PORCHER (43) bzw. die geometrische Spirale von ZIEDSES DES PLANTES (50). Sie benötigt jedoch eine verhältnismäßig lange Ablaufzeit, so daß sie in Fällen, in denen es auf eine möglichst kurze Belichtungszeit ankommt, trotz des erwähnten Vorzuges zur Zeit kaum mit Vorteil verwendet werden kann. Im Interesse einer besseren Übersicht ist es angezeigt, die Verfahren nach der Art ihrer Aufnahmebewegung in folgende Gruppen zu ordnen:

a) Die Verfahren mit eindimensionaler Verwischung
   1) Bewegung von Röhre und Film auf parallelen Geraden
   2) Bewegung von Röhre und Film auf Kreisbögen
   3) Bewegung des Objektes und des Filmes bei feststehender Röhre
b) Die Verfahren mit mehrdimensionaler Verwischung
c) die Verfahren zur Erzielung transversaler (horizontaler) Schichten
d) Besondere Verfahren (Näheres sh. Röntgenschichtverfahren von R. GRIESBACH und F. KEMPER - 13)

Von der Vielzahl der Möglichkeiten sollen hier nur die der in den Versuchen verwendeten Apparate näher erörtert werden; es sind dies die vorwiegend in der Praxis zur Anwendung kommenden Verfahren.

A) Der Zusatzplanigraph Siemens ist einer der bekanntesten Vertreter der Gruppe mit eindimensionaler Verwischung und Bewegung von Röhre und Film auf parallelen Geraden. Das System besitzt ein normales Stativ, das mittels eines Motors oder einer Feder bewegt wird. Hierbei ist die Kupplung von Röhre und Film über einen besonderen Längsstab erreicht, der über einen im Abstand vom Film verstellbaren Drehpunkt geführt ist. Die Einstellung der gewünschten Schichttiefe und die hierzu notwendige Verstellung des Drehpunktes geschieht durch Verstellen der Drehachse, wobei der Abstand der Achse vom Tisch, d.h. die eingestellte Schichthöhe oder -tiefe, an einer Skala direkt abgelesen werden kann. Der Lagerungstisch bleibt immer in der gleichen Stellung. Der Röhren-Tisch-Abstand beträgt in Mittelstellung 1,32 m, der Abstand Tischoberfläche-Film 8 cm. Die Einhaltung immer gleicher Abstandsverhältnisse zwischen Fokus, Schicht und Film ist nicht vorgesehen. Die sich je nach Schichthöhe ändernde lineare Vergrößerung spielt aber keine wesentliche Rolle. Es ergibt sich vielmehr der Vorteil, daß Schichtaufnahmen verschiedener Tiefe eines Objektes mit den gleichen Belichtungsdaten durchgeführt

werden können.

B) Das Gerät Polytome der Firma Massiot-Paris mit ein- und mehrdimensionaler Verwischung. 1950 wurde von TOBB (43) das Polytome von SANS und PORCHER vorgestellt. Dieses Gerät, das von Massiot in Frankreich gebaut wird, arbeitet mit verschiedenen Bewegungen von Röhre und Film. Diese Bewegungen können linear, zirkulär, elliptisch, hypocycloidal und kleeblattförmig erfolgen. Nach Angaben der Hersteller beträgt der Weg der größten Röhrenexkursion bei einem Bewegungswinkel von 60° 540 cm in einer Ablaufzeit von 6 Sekunden, der kürzeste 58 cm bei gradliniger Bewegung in einem Winkel von 29° in 0,6 Sekunden. Die Vielzahl der Bewegungen wird dadurch erreicht, daß Röhre und Film an einem doppelarmigen Rahmen angebracht sind, der über ein Grundgerüst in verschiedenen Bewegungen drehbar ist. Im Gegensatz zum Planigraphen besteht hier ein konstanter Abstand Röhre - Drehpunkt, Drehpunkt - Film (Gesamtabstand 1,40 m), wobei die Bewegungen von Röhre und Filmträger in Form von Kugelkalotten erfolgen. Um eine störungsfreie Bewegung des Kassettenträgers zu ermöglichen, ist der Abstand Drehpunkt - Film größer als beim Universal-Planigraphen (37 cm). Es ergibt sich dadurch ein konstantes Vergrößerungsverhältnis 1 : 1,3. Die Schichthöheneinstellung erfolgt durch Heben und Senken des Lagerungstisches, wobei der Abstand Röhre - Patientenoberfläche je nach Einstellung der Schichthöhe variiert. Bei den Versuchsaufnahmen wurde lediglich die lineare Verwischung mit einem Pendelwinkel von 40°, die einen Vergleich mit dem Zusatz-Planigraphen gestattet, verwendet. Durch die differente Konstruktion der beiden Geräte ergeben sich gewisse Unterschiede, die sich rein theoretisch zum Teil auf die Strahlenbelastung des Patienten auswirken könnten und die deshalb hier noch zusammengefaßt werden.

a) Beim Zusatz-Planigraphen ist der Abstand Röhrenfokus - Körperoberfläche von der Schichthöhe unabhängig, da die Schichthöhe durch Änderung des Drehpunktes bei konstanter Lage des Films verstellt wird. Beim Polytome ändert sich der Abstand Röhren-

fokus - Körperoberfläche je nach Schichthöhe, und zwar in dem Sinne, daß er um so kleiner wird, je näher die Schichtebene der Strahlenaustrittseite des Patienten zuliegt.

b) Dadurch bedingt bleibt beim Polytome der Abstand Schichtebene - Film und damit der Vergrößerungsmaßstab des Röntgenfilms unabhängig von der Schichthöhe gleich, während diese beiden Komponenten sich beim Zusatz - Planigraphen mit zunehmender Schichthöhe, die ja stets als Abstand von der Unterlage angegeben wird, vergrößern.

c) Da beim Zusatz-Planigraphen Röhre- und Filmbewegung auf parallelen Geraden erfolgt, deren Abstand sich nicht ändert, da ja die Tischplatte des Lagerungstisches keinen veränderlichen Abstand zum Film benötigt, kann der Abstand Objekt - Film sehr klein gehalten werden. Aus diesem Grunde ist der Abstand Röhrenfokus - Körperoberfläche immer größer als beim Polytome, denn der Abstand Fokus - Film ist bei beiden Systemen gleich.

d) Die Bewegung von Röhre und Film auf parallelen Geraden beim Universal-Planigraphen führt natürlich zu einer Änderung des Fokus - Objekt-Abstandes während der Röhrenbewegung. Er ist in der Mittelstellung am kleinsten und in den Endstellungen am größten. Beim Polytome dagegen, bei dem die Halterung von Röhre und Film ein in Form einer Kugelkalotte beweglichen Parallelogramm darstellt, bleibt der Fokus - Objekt-Abstand in allen Bewegungsphasen gleich.

3.) Simultan-Schichtverfahren

Der bereits früher erwähnte Umstand, daß Schichtuntersuchungen eine Anzahl von Aufnahmen erforderlich machen, die in verschiedenen Arbeitsgängen angefertigt werden müssen, wurde sehr bald als ein gewisser Nachteil des Verfahrens angesehen, den man zu beseitigen trachtete. Bereits im Jahre 1931 berichtete ZIEDSES DES PLANTES (51) über Vorschläge zur Mehrschichtdarstellung, d.h.

getrennte Abbildung mehrerer übereinanderliegender Körperschichten in einem Aufnahmevorgang. Diese Methode wurde schon 1936 von JANKER (20) und seiner Schule angewendet. VIETEN (49) veröffentlichte 1940 ebenfalls Versuche zu diesem Verfahren. Ähnliches wurde von HAAS (16) wiederholt. Im einzelnen wird die Darstellung so erreicht, daß in einer geeigneten Kassette bestimmter Größe und Höhe mehrere Filme mit entsprechenden Verstärkerfolienkombinationen in bestimmten Abständen übereinander angeordnet sind. Wird diese Kassette so in der Kassettenhalterung angebracht, daß der oberste Film an der Stelle des Films bei Einzelaufnahmen liegt, so stellen sich auf den darunterliegenden Filmen die Körperschichten dar, die den gleichen Abstand von der eingestellten Schichthöhe haben wie die entsprechenden Filme.

Als Vorteil der Simultan-Schichtdarstellung wurde in den Arbeiten von BACKLUND (4), BECKER (6), GAJEWSKI (11), LIESS (30) u.a. angegeben:

a) Arbeitsersparnis
b) geringere Belästigung des Patienten durch Verkürzung der Untersuchungszeit
c) Darstellung des zu untersuchenden Objektes im gleichen Zustand
d) Herabsetzung der Strahlenbelastung des Patienten.

Während die Richtigkeit der ersten drei Punkte unbestritten bleibt, konnte WIDENMANN 1958 (49) durch vergleichende Untersuchung über Bildqualität und Dosisbedarf bei Simultan- und Einzelschichtaufnahmen nachweisen, daß die Herabsetzung der Strahlenbelastung durch Simultantechnik wesentlich geringer ist, als nach den bisher vorliegenden Angaben zu erwarten wäre. Da die übereinanderliegenden Verstärkerfolienpaare die durchfallenden Röntgenstrahlen erheblich schwächen, muß der Verstärkungsfaktor von der untersten zur obersten Folie immer weiter herabgesetzt werden, um eine gleichmäßige Schwärzung der Röntgenbilder in allen Schichten zu erreichen. Deshalb entspricht der Verstärkungsfaktor des ersten

Folienpaares bei weitem nicht mehr dem einer Universalfolie, wie sie zur Einzelschicht-Aufnahme verwendet wird. So resultiert letzten Endes durch eine Simultan-Serie höchstens eine etwa 20 bis 40 %ige Dosissparung gegenüber der gleichen Anzahl Einzelschichtaufnahmen.

Da die Dosisverteilung im Körper beim Simultanschicht-Verfahren selbst nicht beeinflußt wird, bedarf es hier keiner besonderen Betrachtung. Die unterschiedliche Absoluthöhe der bei einer vollständigen Untersuchung verabreichten Dosis läßt sich auf Grund des Verhältnisses des Verstärkungsfaktors der Folienkombination für Einzelaufnahmen und des obersten Folienpaares des Simultansatzes sowie der notwendigen Expositionen errechnen. Wie eingangs betont, bestehen zwischen Röntgentherapie und -diagnostik insofern gewisse Unterschiede in der Betrachtungsweise als der Dosisbezugswert ein unterschiedlicher ist. In der Dosisverteilung bei gleicher Strahlenqualität sind jedoch keine prinzipiellen Unterschiede zu verzeichnen, vorausgesetzt, daß man in beiden Fällen von feststehender Röhre ausgeht.

Aus der Beschreibung des Röntgenschichtverfahrens läßt sich erkennen, daß zwar hier keine Parallelen mit den Routineaufnahmen und damit auch der üblichen Stehfeldtherapie zu erwarten sind. Möglicherweise treten bei diesem Verfahren jedoch Dosisverteilungen auf, wie sie etwa bei den strahlentherapeutischen Verfahren der Bewegungsbestrahlung vorliegen.

IV. DIE DOSISVERTEILUNG BEI DER BEWEGUNGSBESTRAHLUNG IM VERGLEICH ZU DER BEI DER SCHICHTDIAGNOSTIK

Schon früher war man sich in der Röntgentherapie darüber klar geworden, daß eine erfolgreiche Therapie der tiefliegenden Tumoren nur dann möglich sein werde, wenn es gelingt, die Dosis am Tumor wesentlich zu erhöhen, ohne gleichzeitig die Dosis an der Oberfläche weiter zu steigern. Deshalb wurden zunächst mehrere Ein-

fallsfelder verwendet (18), deren Strahlen sich im Bereich des Tumors kreuzten. Das gleiche Motiv führte auch schon sehr frühzeitig zu dem Gedanken, durch Bewegung der Röhre (25) bei feststehender Lage des Patienten oder Bewegung des Patienten bei feststehender Röhre (35) eine kontinuierliche Lageänderung des Strahleneintrittsfeldes vorzunehmen. Damit ergab sich bei Herabsetzung der Oberflächenbelastung eine maximale Dosiskonzentration am Herd mit einem relativ steilen Dosisabfall nach der Umgebung hin. Die Dosisverteilung richtet sich dabei nach der Feldbreite, der Lage der Bewegungsachse, der Größe des Bewegungswinkels, der Strahlenqualität und dem Fokus - Haut-Abstand.

Prinzipiell liegen bei der Bewegungsbestrahlung ähnliche Verhältnisse vor wie bei der Schichtuntersuchung. Jedoch bestehen technisch und physikalisch eine Reihe von Unterschieden, die nachfolgend zusammengestellt sind.

a) Die Größe des gesamten Strahleneintrittsfeldes ist bei der Tomographie fast immer wesentlich größer als bei der Bewegungsbestrahlung eine Feldbreite von 3 - 10 cm in der Bewegungsrichtung bestrahlt wird, beträgt dieselbe Feldbreite bei der Tomographie 12 - 30 cm.

b) Bei der Bewegungsbestrahlung wird der Bewegungswinkel möglichst groß gewählt. Nur bei einer Bewegung von etwa 360° fällt die Drehachse und das Dosismaximum in einen Punkt. Wird der Winkel kleiner, so wandert das Dosismaximum in Richtung der Winkelhalbierenden zur Körperoberfläche hin aus.

c) Bei der Bewegungsbestrahlung wird der Patient so gelagert, daß der kürzeste Hautdrehpunktabstand der Röhre zugewandt ist. Bei der Tomographie wird zur Vermeidung der geometrischen Bildunschärfe der kürzeste Drehpunkt-Hautabstand der Röhre abgewandt und dem Bild zugewandt sein. Hier liegen also auf Grund der anderen Zielsetzung die Verhältnisse genau umgekehrt.

d) Der Abstand Drehpunkt - Röhre liegt bei der Bewegungsbestrahlung zwischen 50 und 70 cm verstellbar. Bei der Tomographie

liegt dieser Abstand je nach Schichthöhe zwischen 1.00 m und 1.30 m.

e) Bei der Tomographie wird mit einer Röhrenspannung von 70 bis 150 KV gearbeitet, wie sie auch in der normalen Röntgendiagnostik angewandt wird. Diese Strahlung wird gefiltert mit 2-4 mm Aluminium. In der Röntgentherapie wird bei der Bewegungsbestrahlung mit einer Röhrenspannung von 180 bis 250 KV max. gearbeitet. Die Filterung bewegt sich zwischen 0,35 bis 0,5 mm Kupfer. Die Strahlung ist dadurch wesentlich durchdringungsfähiger, so daß die Unterschiede zwischen Eintrittsdosis und Dosis im Körperinnern bzw. Austrittsdosis wesentlich geringer sind. Für eine Röntgenaufnahme sind diese Strahlenqualitäten allgemein nicht verwendbar, denn bei so hohen Spannungen verringert sich auch der Unterschied der Absorption im Gewebe so stark, daß die durch den Körper dringenden Strahlen einen zu geringen Kontrast für die Bildgebung ergeben.

Über die Dosisverteilung im Körper bei Bewegungsbestrahlung liegen zahlreiche Untersuchungen und Messungen vor (WACHSMANN 17, KOHLER 26). Die ersten Isodosenkurven wurden dabei auf Grund von Berechnungen aufgestellt und etwas später von KOHLER (26) durch Messungen im Wachsphantom. Wegen der aufgeführten unterschiedlichen technischen und physikalischen Gegebenheiten lassen sie jedoch keine direkten Rückschlüsse auf die Verhältnisse bei Schichtaufnahmen zu. Man kann aber auf Grund der bei der Pendelbestrahlung gefundenen Gesetzmäßigkeiten für die Schichtaufnahmetechnik rein theoretisch folgendes sagen:

a) Infolge der relativ großen Felder muß das Dosismaximum sehr hoch liegen.

b) Im gleichen Sinne wirkt sich auch der relativ kleine Pendelwinkel aus.

c) Auch die wesentlich geringere Strahlenhärte bei der Tomographie gegenüber der Therapiestrahlung führt, wie allge-

mein bekannt, zu einer relativ hohen Oberflächendosis.

Nach den Erfahrungen bei der Bewegungsbestrahlung dürfte jeder der im Bericht aufgeführten Punkte allein schon zu einem Dosismaximum der Oberfläche führen. Beim Zusammenwirken aller drei Gegebenheiten läßt sich dies mit Sicherheit voraussagen. Weiter kann gesagt werden, daß die räumliche Dosisverteilung bei der Schichtaufnahme in den zentralen Partien derjenigen beim Stehfeld entsprechen dürfte. Dagegen sind in den Randpartien Unterschiede zu erwarten. Im Schrifttum wird diese Ansicht nicht immer vertreten. Im Schrifttum wird diese Ansicht nicht immer vertreten. So berichtete erst kürzlich wieder PALMIERI [1] über Ähnlichkeit der Stratitherapie und der Stratigraphie, die beide eine Dosiskonzentration in einer Ebene brächten.

Eine eindeutige Beantwortung des Problems kann also nur durch direkte Messungen erfolgen.

V. EIGENE VERSUCHE

1.) Verwandte Geräte

Der größte Teil der Versuche wurde an dem bereits beschriebenen Siemens-Zusatz-Planigraphen durchgeführt, der in seinem Grundprinzip dem Siemens-Universal-Planigraphen gleichzusetzen ist. Er war angeschlossen an einen 6-Ventil-Röntgenapparat der SRW Tridoros 4, der eine maximale Röhrenspannung von 150 kV erlaubt. Es wurde eine Drehanodenröhre mit Doppelfokus für 30 und 50 kW Belastung verwendet, und für die Messungen mit dem 30 kW-Fokus gearbeitet, der eine Größe von 1,2 x 1,2 mm aufweist. Das in diesem Gerät eingebaute Streustrahlenraster war ein FFH-Raster, das einen relativ großen Verlängerungsfaktor aufweist [2]. Der eingestellte Winkel

---

1) Vortrag auf dem 4. Internat. Kongreß für Stratigraphie.

2) FFH-Raster sind Raster mit einem hohen Schachtverhältnis, d.h. der Abstand der Lamellen verhält sich zur Höhe der Lamellen wie 1 : 15.

betrug 38°. Hierbei ist zu erwähnen, daß sich beim Planigraphen der eingestellte Winkel mit der Schichthöhe ändert. Diese Änderung ist dadurch bedingt, daß durch Änderung der Schichthöhe der Abstand Röhre - Drehpunkt geändert wird, die Länge des Röhrenweges aber gleichbleibt.

Dies ist an einer Skizze (Abb. 2) näher erläutert.

Die angegebenen Winkelgrade entsprechen dabei dem halben Pendelwinkel.

Weiterhin wurden Vergleichsmessungen am Polytome der Firma Massiot, das ebenfalls schon beschrieben wurde, vorgenommen. Da hierbei der Drehpunkt - Fokus-Abstand immer gleichbleibt, tritt keine Winkeländerung auf. Dieses Gerät wurde an einen 6-Ventil-Apparat Titanos DS der Firma Koch & Sterzel betrieben. Er erlaubt eine maximale Aufnahmespannung von 120 kV. Auch hier war eine Drehanodenröhre mit Doppelfokus angeschlossen und zwar für 2 kW und 30 kW Belastung, wobei zu den Untersuchungen ebenfalls der 30 kW-Brennfleck mit den gleichen Abmessungen wie oben verwendet wurde.

Als Dosismeßinstrument diente das bei BUNDE (8) näher beschriebene Kondiometer der physikalisch-technischen Werkstätten Freiburg, das unmittelbar auf dem Prinzip der Ionisationsmessung beruht. Es besteht aus zwei Teilen: dem Grundgerät und den Ionisationskammern verschiedener Empfindlichkeit. Das Grundgerät enthält die Ladevorrichtung für die Meßkammern und das Elektrometer, mit dem die Ladung der Kammern nach ihrer Bestrahlung bestimmt wird. Die Ionisationskammern sind kugel- oder zylinderförmig, sowohl Wände als Innenelektrode bestehen aus sogenannten luftäquivalentem Material, wodurch eine relativ geringe Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Strahlenqualität erreicht wird.

Die Besonderheit des Kondiometers liegt darin, daß die Ionisationskammer während ihrer Bestrahlung völlig vom Meßinstrument getrennt ist und dadurch eine unbegrenzte Beweglichkeit besitzt. Die dazu gehörigen sogenannten Kondensatorkammern werden zunächst am Grundgerät auf eine bestimmte Spannung aufgeladen, dann an einem belie-

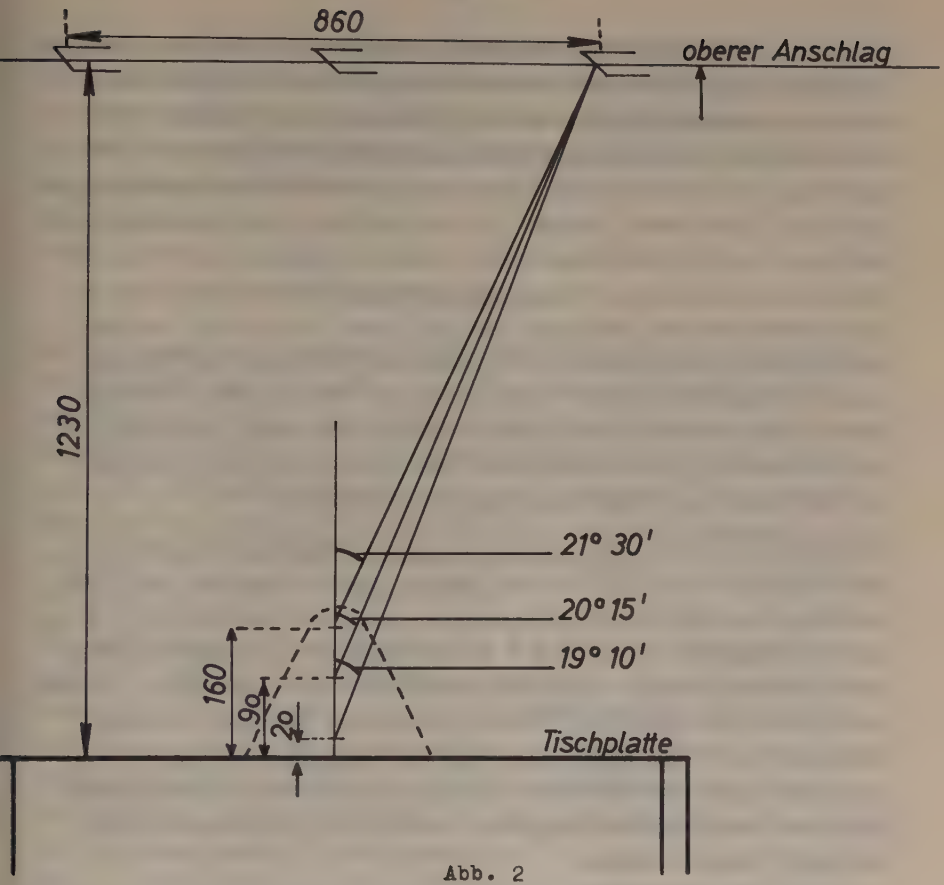

Abb. 2

Änderung des Schichtwinkels beim Planigraphen.
Die angegebenen Winkel bezeichnen jeweils den halben Schichtwinkel.

bigen Ort der Bestrahlung ausgesetzt und dadurch mehr oder weniger entladen. Danach wird die Restspannung gemessen, und zwar nach einer Nullmethode. Sie besteht in folgendem: vor Messung wird der Lichtzeiger des Elektrometers genau auf Null justiert. Der Ausschlag, den er dann bei Aufsetzen der bestrahlten Kammer zeigt, wird nicht abgelesen, sondern er wird mittels einer Kompensationsanordnung auf Null zurückgebracht. Diese Anordnung wird von einer Gleichspannungsquelle, einem sogenannten Influenzkondensator und einem Potentiometer gebildet, und mit ihrer Hilfe wird bei der Messung durch Influenz auf die Innenelektrode genau so viel Ladung zurückgebracht, wie vorher durch die Bestrahlung neutralisiert worden war. Da die Kapazität des Kondensators konstant ist, ist die Ladung genau proportional der Entspannung am Kondensator, sie wird mit einem Spannungsmesser gemessen.

Nullmethoden sind stets genauer als Ausschlagmethoden, da die Meßbedingungen vor und bei der Messung exakt dieselben sind. Die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse geht beim Kondiometer bis zu einer Genauigkeit von etwa $\pm$ 1 %. Die angegebene Meßgenauigkeit gilt natürlich nur ab einer gewissen Größe des Ausschlages am Meßinstrument. Auf Grund der Vielfältigkeit der anzuschließenden Meßkammern gibt das Gerät zunächst die Meßergebnisse nur in willkürlichen Einheiten an. Damit die gemessene Dosis in internationalen Röntgeneinheiten angegeben werden kann, muß es mit jeder Meßkammer geeicht werden.

Diese Eichung geschieht durch Vergleich mit der Anzeige eines Standardmeßgerätes. Dazu diente in diesem Fall ein Küstnersches Eichstandgerät, das seinerseits 1955 an der Primärstandardanlage der physikalisch-technischen Bundesanstalt angeschlossen war. Zur Messung im Wasserphantom wurden Kugelkammern mit 10 mm Durchmesser verwendet. Sie haben zwar den Nachteil, wegen ihres geringen Ionisationsvolumens relativ unempfindlich zu sein, so daß für einen Meßgang oft eine Vielzahl von Schaltungen notwendig wurde. Sie waren jedoch erforderlich, da möglichst punktförmige Messungen an-

gestrebt wurden. Für die Messung der Bezugsdosis am Film wurde eine zylindrische Spezialkammer von 33 mm Ø und 90 mm Länge benutzt, die neben einer wesentlich höheren Empfindlichkeit noch den Vorteil einer zu vernachlässigenden Abhängigkeit von der Strahlenqualität hatte (SEELENTAG 38).

2.) Versuchsanordnung

Als Versuchsobjekt diente ein Kunststoffbehälter von 45 cm Länge, 30 cm Breite und 20 cm Höhe, der 19 cm hoch mit Wasser gefüllt war. Die Einbringung der Meßkammern ins Wasser geschah in der von SEELENTAG und KLOTZ (41) beschriebenen Weise in einem Plexiglasstab, der für jede Meßkammer eine genau passende Bohrung enthielt. Über den Stab wurde ein dünner Schlauch aus Matrixkautschuk gezogen, der das Naßwerden der Meßkammern verhinderte. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 3 dargestellt.

Die Meßkammern wurden horizontal in Richtung der Röhrenbewegung in der Mitte des Wasserphantoms eingebracht. Sie hatten einen Abstand von 2 cm, so daß bei einer Bildgröße des bestrahlten Feldes von 20 x 20 cm^2 in der Filmebene und bei 10 im Zentralstrahl beginnenden Meßpunkten jeweils die Hälfte der Meßkammern im direkten Strahlengang, die andere Hälfte im Streustrahlenbereich lagen. In 10 Arbeitsgängen wurde die Medianebene in 1 - 19 cm Abstand von der Wasseroberfläche in jeweils 2 cm Abstand ausgemessen. Damit sich die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgänge ohne größere Fehlerbreite durch evtl. Schaltungenauigkeiten in Beziehung bringen ließen, wurde jedesmal die Dosis in der Filmebene ermittelt und alle Meßwerte auf die Bezugsdosis von 1 mr am Film umgerechnet. Dies war auch deshalb erforderlich, weil in den unteren Schichten des Wasserphantoms und im Streustrahlenbereich eine meßbare Dosis nur dadurch zu erzielen war, daß mehrere Schaltungen bzw. Röhrenabläufe durchgeführt wurden. Alle Messungen wurden als Doppelbestimmungen ausgeführt, um eine größere Genauigkeit zu erzielen.

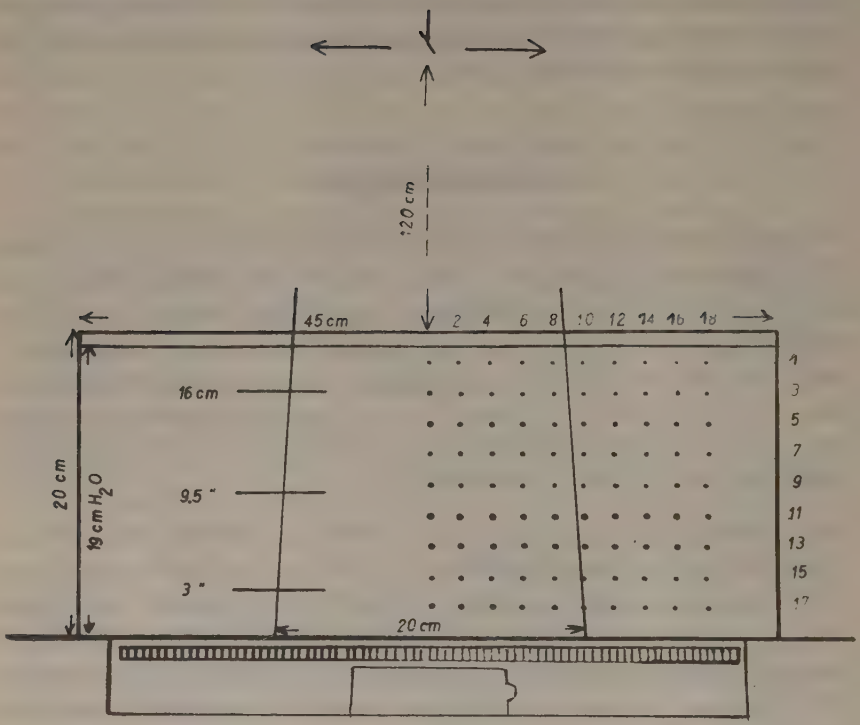

Abb. 3

Schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

In dem ausgeblendeten Feld 20 cm^2 bedeuten die einzelnen Punkte die Kugelkammer mit 10 mm Durchmesser. Hiernach durchdringt die Röntgenstrahlung das FSH-Raster. Die Kammer J ist die Spezialkammer von 33 mm Durchmesser und 90 mm Länge.

Eine Messung in einer Ebene senkrecht zur Röhrenbewegung erfolgte nicht, da in dieser Richtung keine Unterschiede gegenüber dem Stehfeld zu erwarten sind.

Untersucht wurden folgende Aufnahmebedingungen: 3, 9 1/2 und 16 cm Schichthöhe vom Tisch aus gemessen, bei 80 und 130 kV mit dem Siemens-Zusatzplanigraphen und 9 1/2 cm bei 80 kV mit dem Polytome.

3.) Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind zunächst in den Abbildungen 4 bis 12 dargestellt. Die einzelnen Kurven geben dabei jeweils den Verlauf der Dosis in den einzelnen Wasserschichten vom Zentralstrahl bis 10 cm außerhalb des direkten Strahlenbereiches wieder. Der besseren Übersicht wegen sind nur die Werte der Wasserschichten im 1 cm-, 3 cm-, 5 cm-, 9 cm und 17 cm-Abstand von der Oberfläche eingezeichnet.

Auf den Abb. 4 bis 7 ist die Dosisverteilung beim Stehfeld und den eingestellten Schichttiefen von 3, 9, 5 und 16 cm bei 80 kV angegeben und auf den Abb. 8 bis 11 das gleiche für 130 kV. Die gestrichelte Linie innerhalb der Kurven gibt die Dosis an, die im Bereich der eingestellten Schichtebenen gemssen wurde. Hierbei zeigt sich, daß ein unterschiedlicher Kurvenverlauf vor allem in den röhrennahen Partien vorhanden ist, der sich nach der Tiefe zu wieder ausgleicht. Vom Stehfeld über 16 cm Schichttiefe bis 3 cm Schichttiefe verschmälert sich der Bereich der Höchstdosis an der Oberfläche, wobei die Absoluthöhe ansteigt und die Dosis nach dem Feldrand zu flacher abfällt. Ein Dosismaximum im Bereich der eingestellten Schichtebene kommt nicht zur Darstellung. Vergleicht man die Kurven bei 80 kV mit denen bei 130 kV, so läßt sich feststellen, daß der allgemeine Verlauf der Kurven ungefähr gleich ist, nur daß bei der höheren Spannung der Abfall zur Peripherie hin nicht so steil erfolgt. Die Absolutwerte in der Peripherie liegen etwa 10 % niedriger, während sie im Zentralstrahl um etwa 60 % niedriger liegen. Beim Vergleich der 9,5 cm-Schicht mit dem

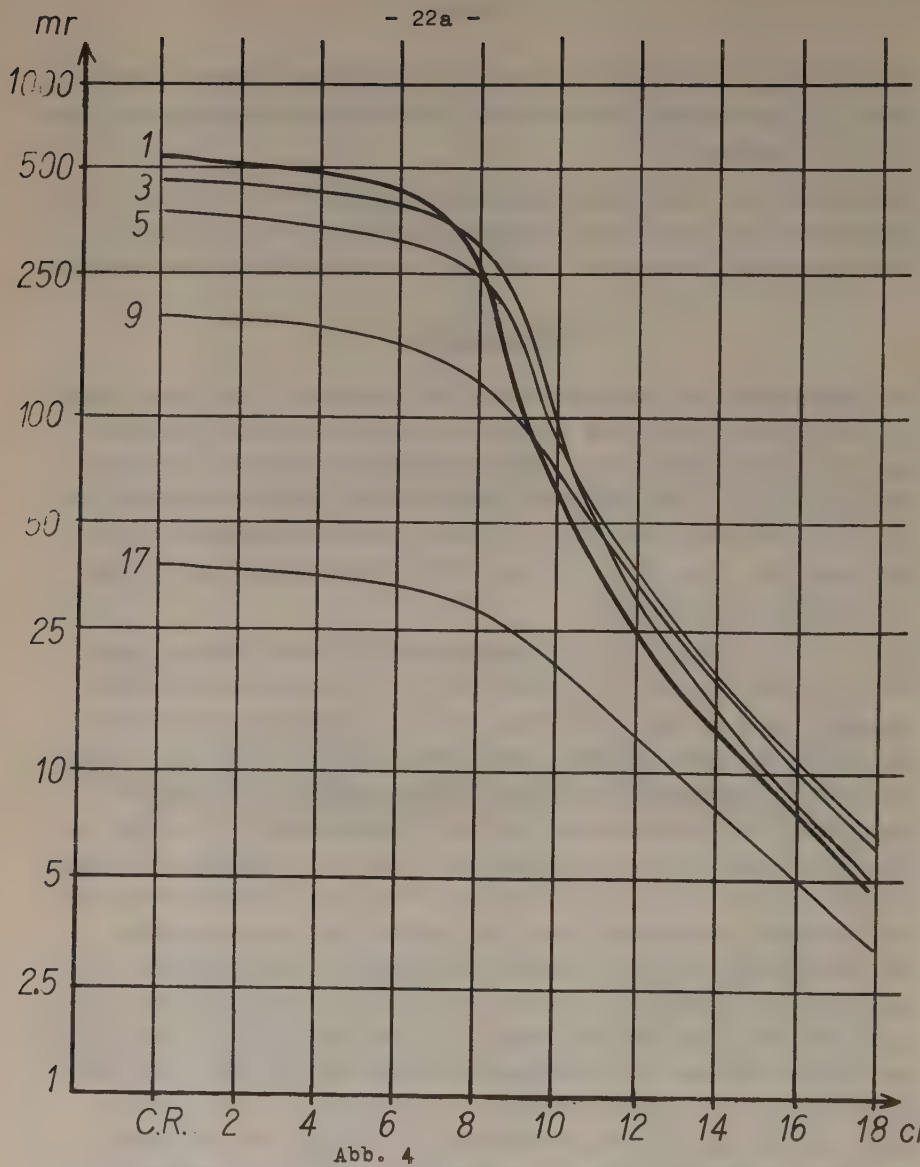

Abb. 4

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 80 kV Stehfeld, Feldgröße 20 cm x 20 cm. (C.R.)

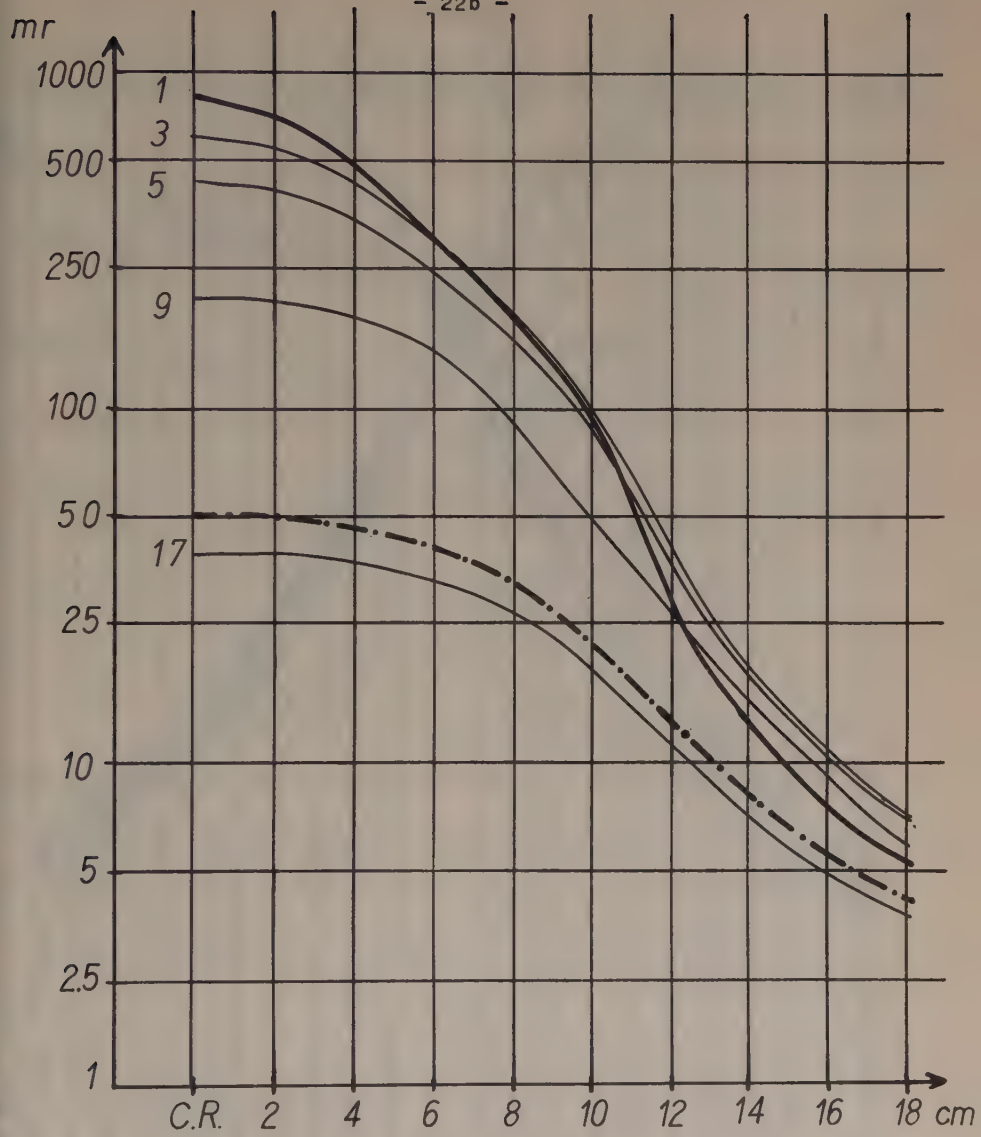

Abb. 5

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 80 kV Schichthöhe 3 cm -,-, Feldgröße 20 cm x 20 cm. (C.R.)

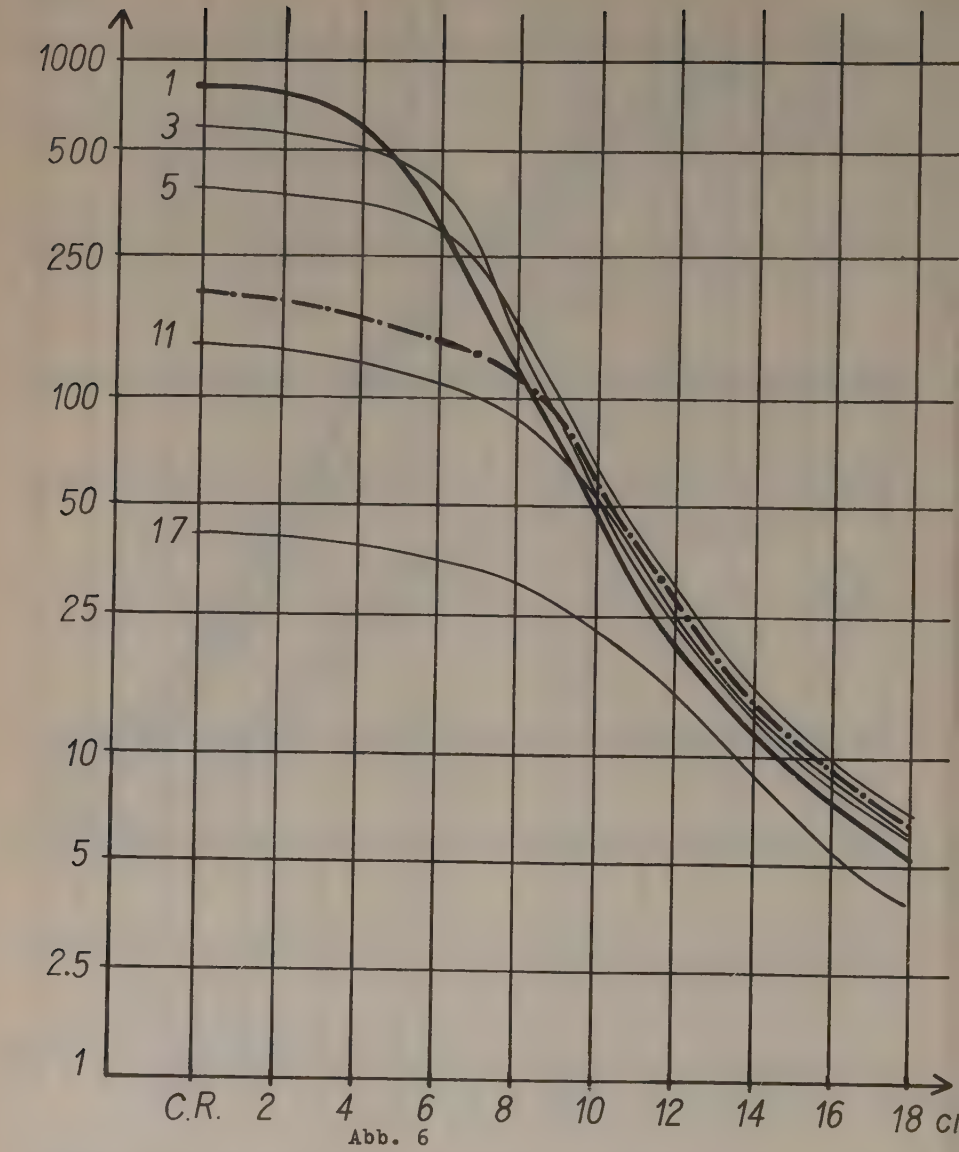

Abb. 6

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 80 kV Schichthöhe 9,5 cm -.-, Feldgröße 20 cm x 20 cm. (C.R.)

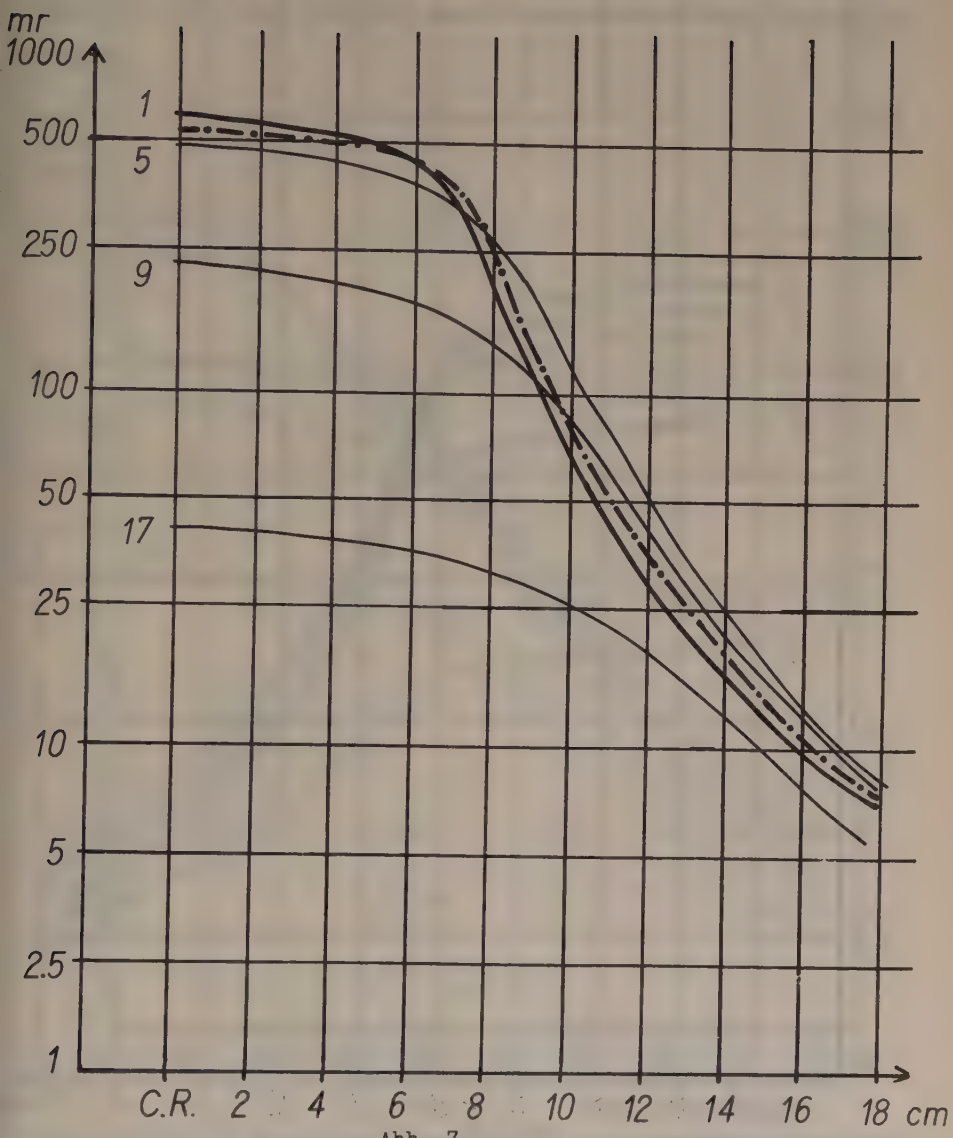

Abb. 7

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 80 kV Schichthöhe 16 cm -,-, Feldgröße 20 cm x 20 cm (C.R.)

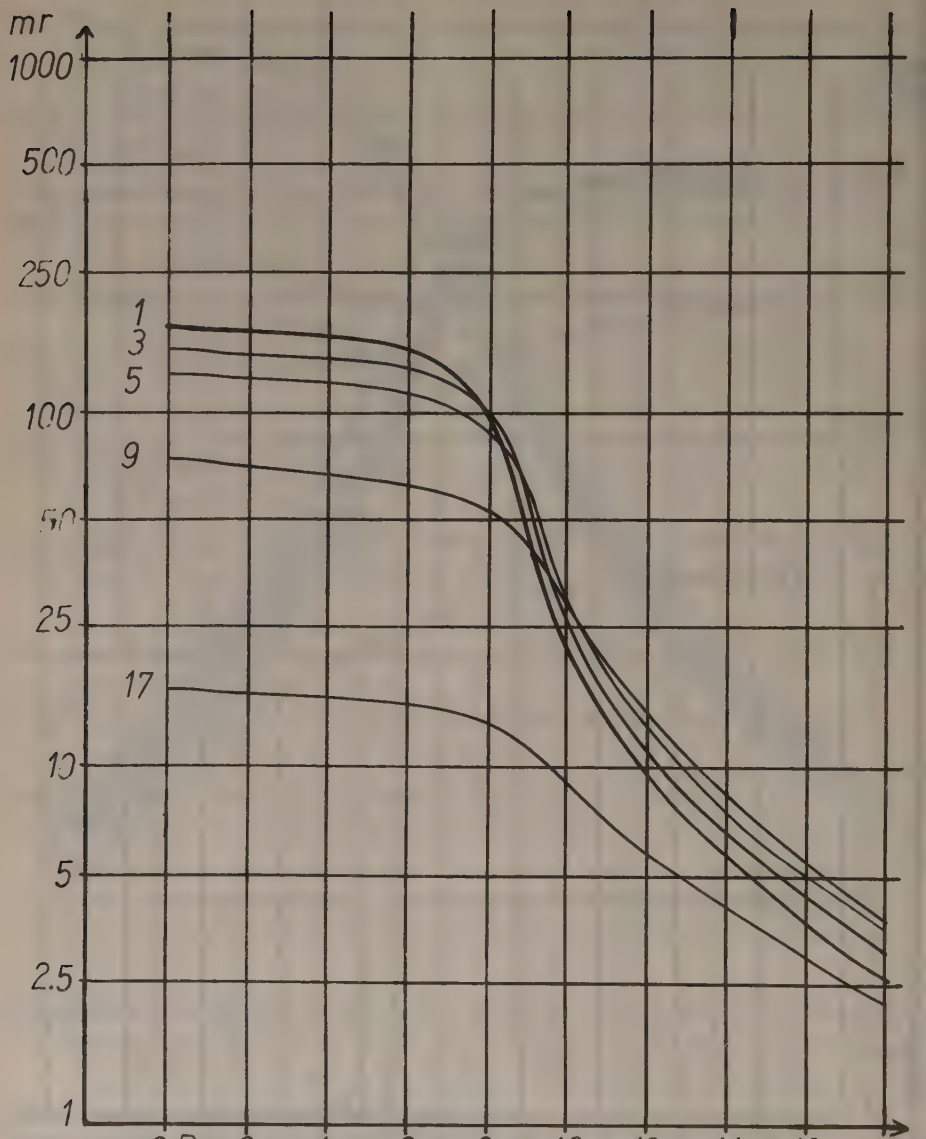

Abb. 8

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 130 kV Stehfeld. Feldgröße 20 x 20 cm. (C.R.)

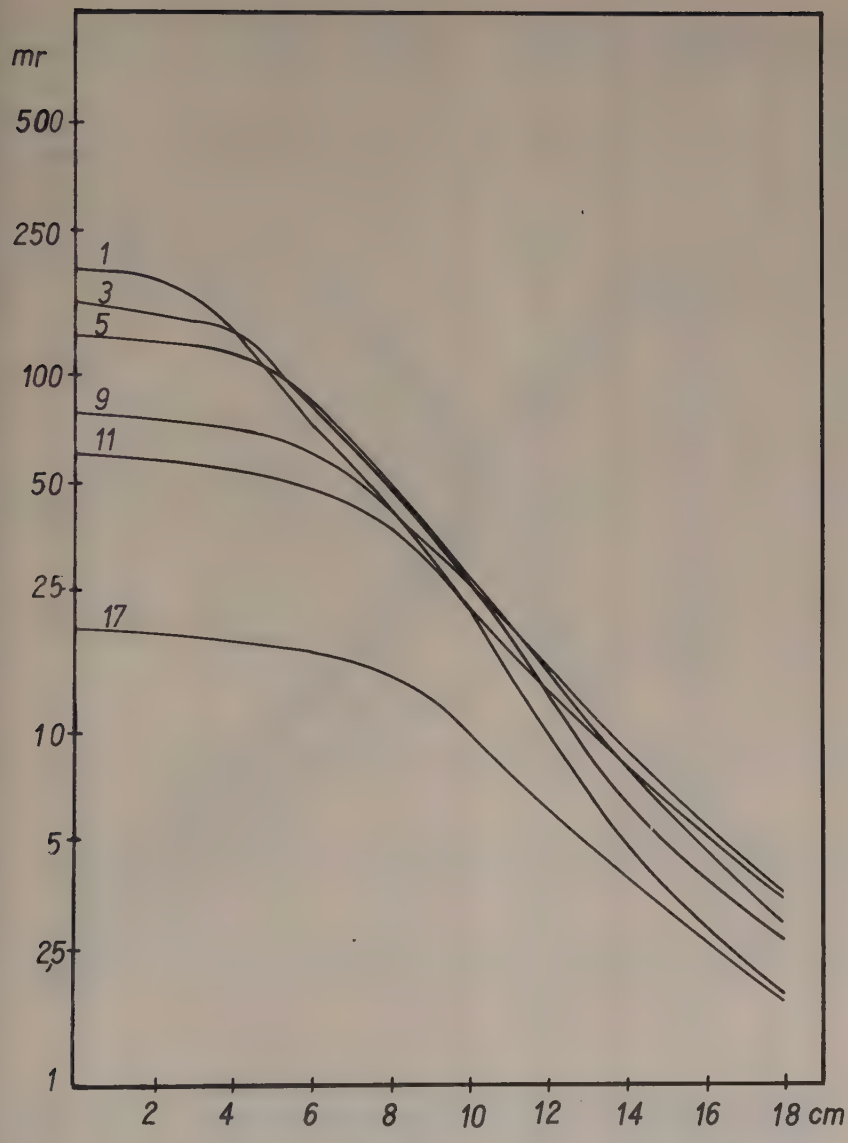

Abb. 9

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 130 kV Schichthöhe 3 cm, Feldgröße 20 x 20 cm.

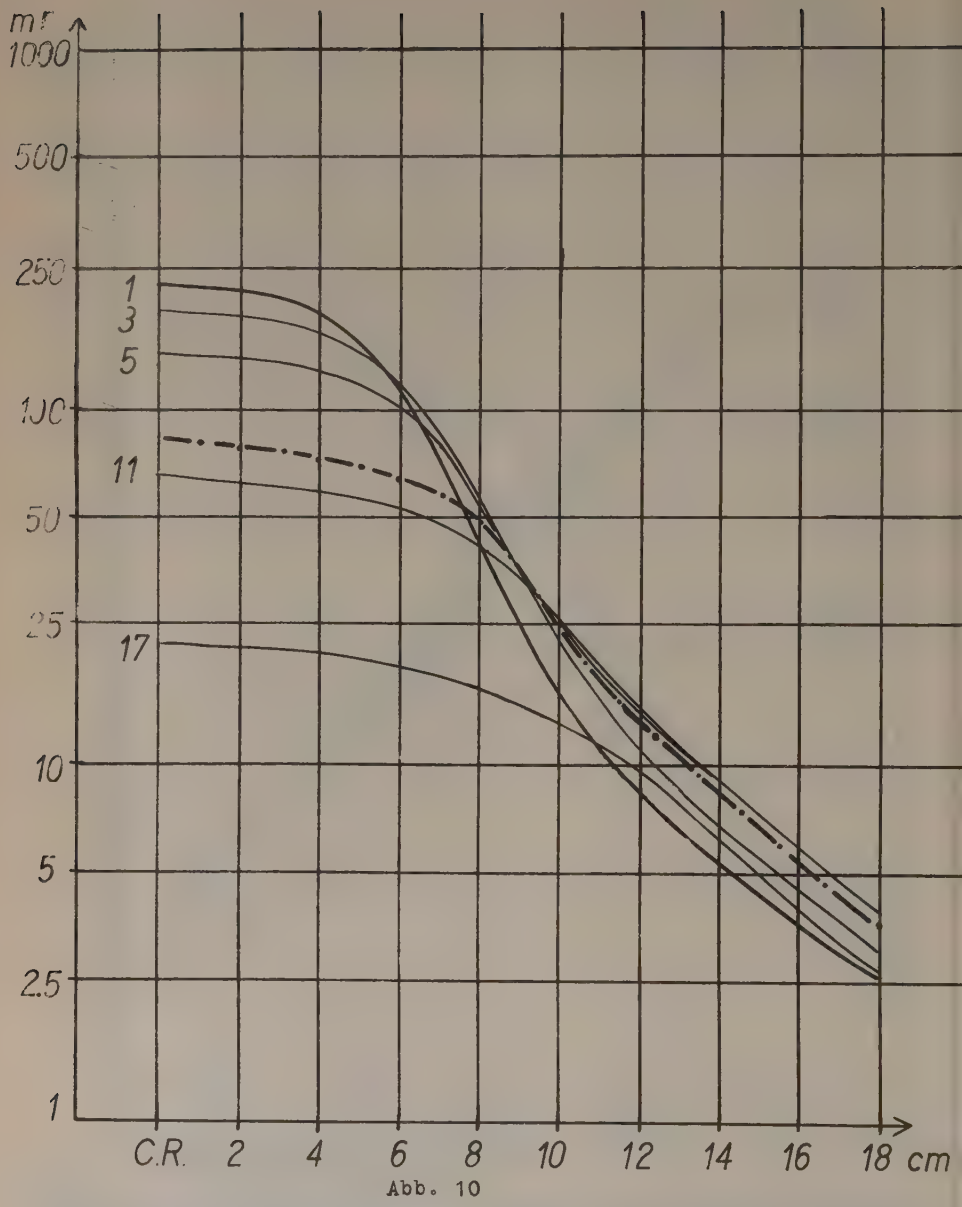

Abb. 10

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 130 kV Schichthöhe 9,5 cm, Feldgröße 20 cm x 20 cm. (C.R.)

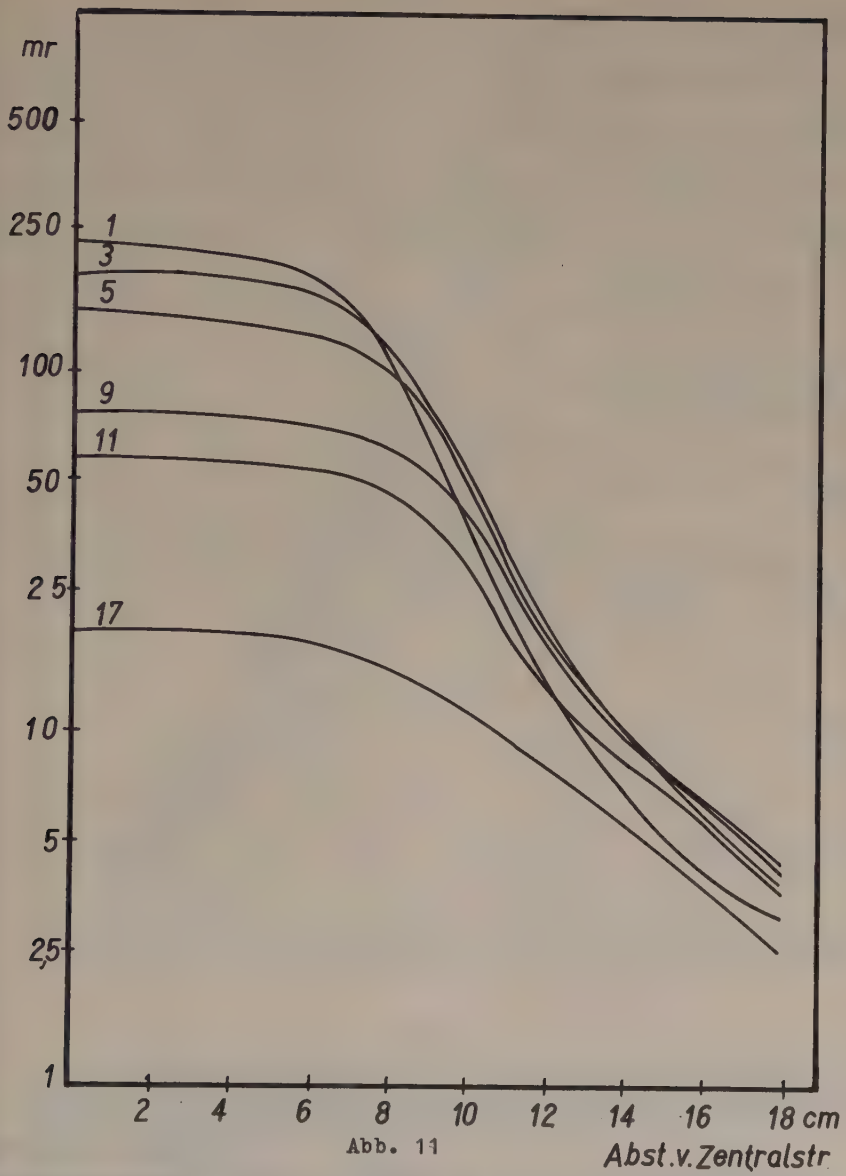

Abb. 11

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Universalplanigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°, Fokus-Filmabstand 145 cm. 130 kV Schichthöhe 16 cm, Feldgröße 20 cm x 20 cm.

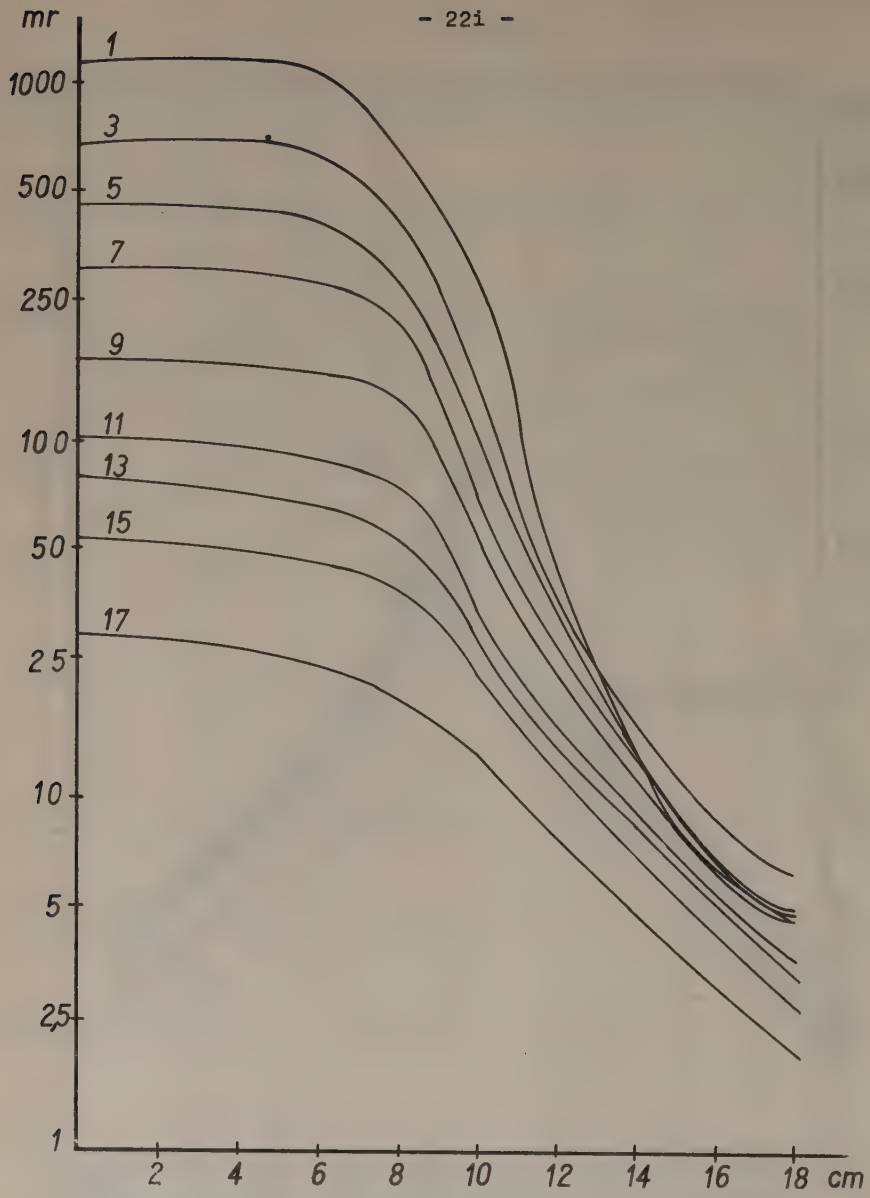

Abb. 12

Dosisverlauf im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Polytome (lineare Verwischung) Pendelwinkel 40°, Fokus-Filmabstand 140 cm.
80 kV Schichthöhe 9,5 cm, Feldgröße 2o x 20 cm.

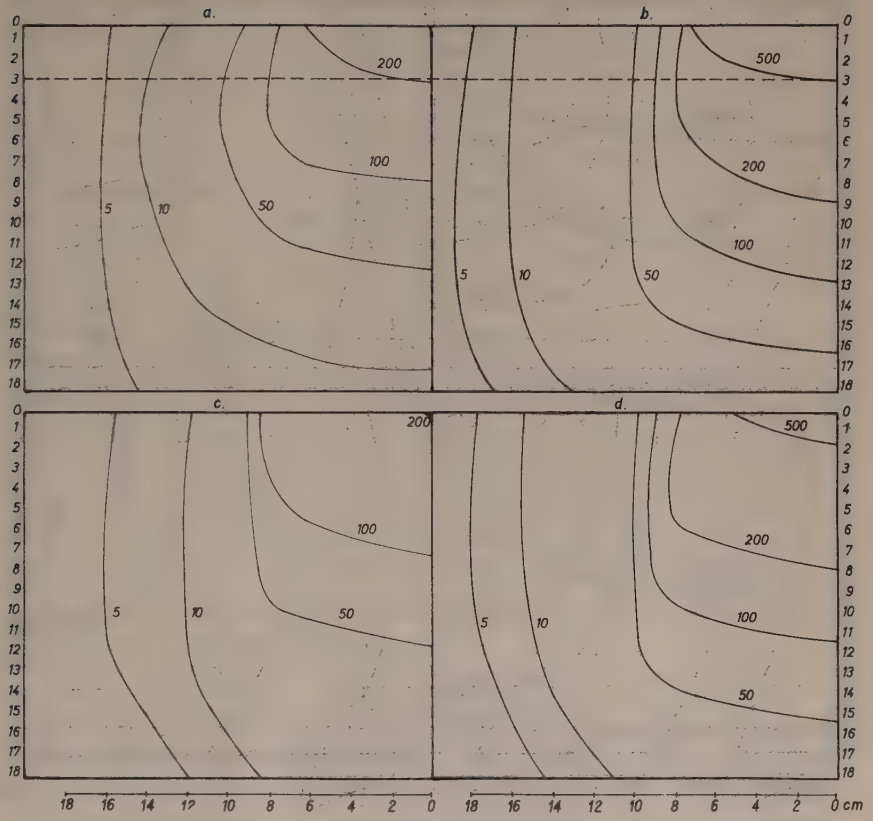

Abb. 13

Isodosenlinien in mr im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Planigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°.
a) Schichthöhe 16 cm, 130 kV
b) Schichthöhe 16 cm, 80 kV
c) Stehfeld 130 kV
d) Stehfeld 80 kV

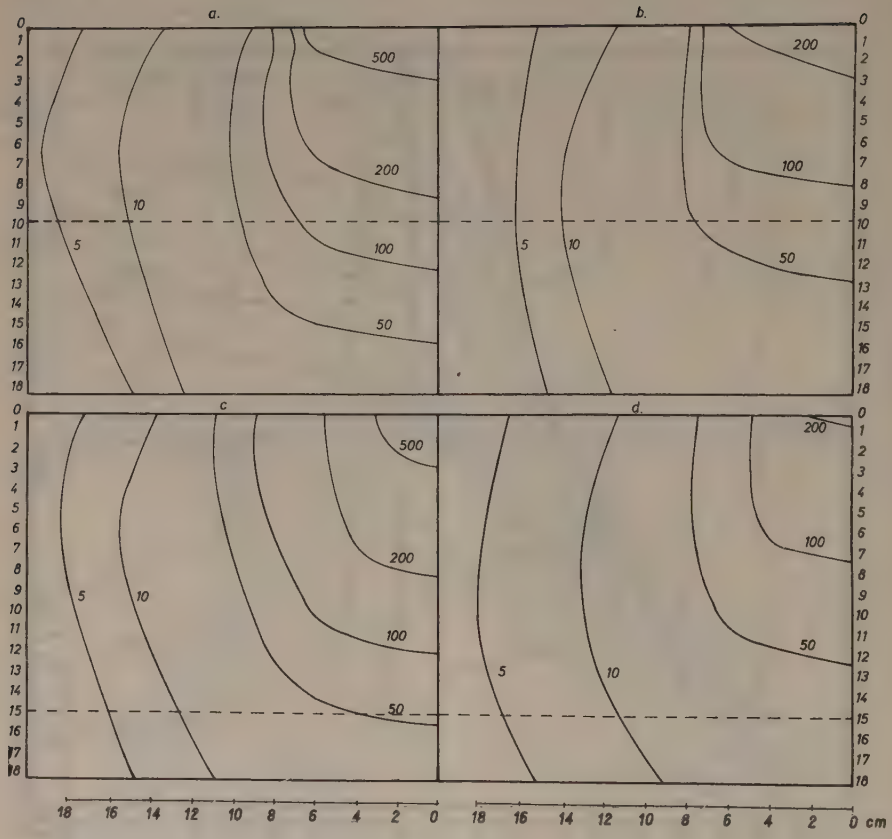

Abb. 14

Isodosenlinien in mr im sagittalen Längsschnitt in verschiedenen Abständen von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Planigraph (lineare Verwischung) Pendelwinkel 38°.
a) Schichthöhe 9,5 cm, 80 kV
b) Schichthöhe 9,5 cm, 130 kV
c) Schichthöhe 3 cm, 80 kV
d) Schichthöhe 3 cm, 130 kV

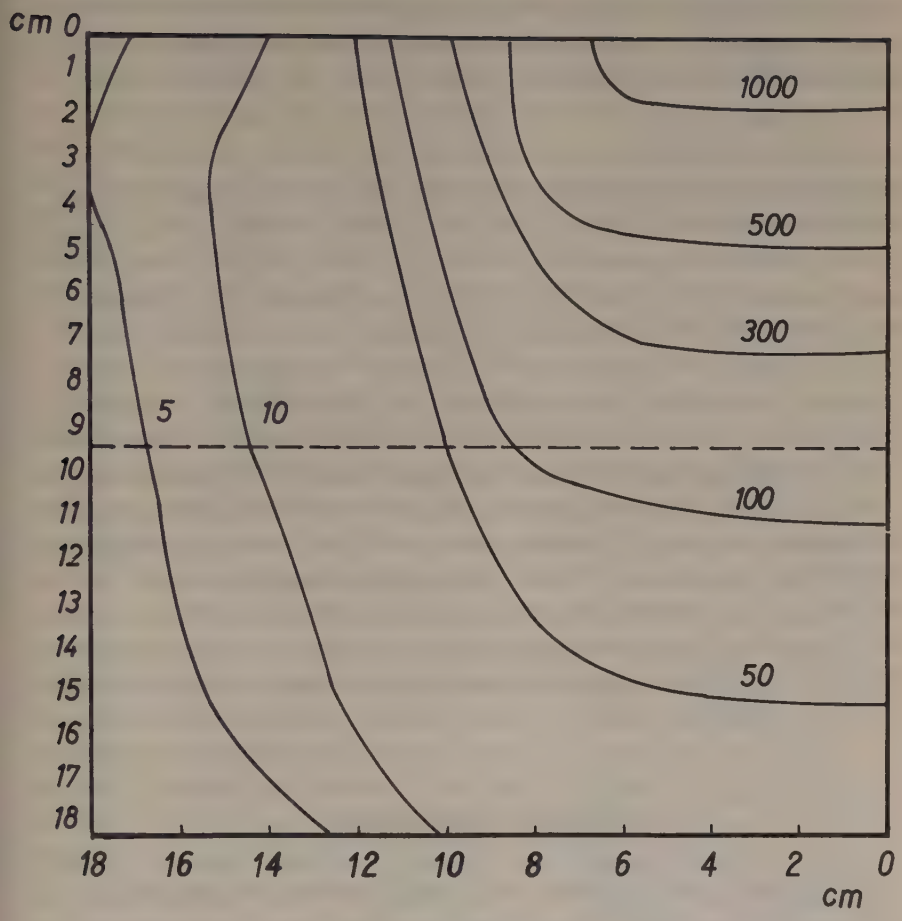

Abb. 15

Isodosenlinien in mr im sagittalen Längsschnitt im Abstand von 9,5 cm von der Oberfläche bezogen auf 1 mr am Film. Polytome (lineare Verwischung) Pendelwinkel 40°. Fokus-Filmabstand 140 cm, 80 kV.

Horizontalplanigraphen bei 80 kV mit der vom Polytome bei 80 kV (Abb. 12) zeigt sich, daß der Dosisverlauf am Feldrand wesentlich steiler abfällt und die Oberflächendosis einen wesentlich höheren Wert aufweist. Die homogen bestrahlte Fläche ist im Zentrum hier wesentlich größer.

Da die technische Anordnung der Schichtgeräte Vergleiche zur Bewegungsbestrahlung nahelegt, wurden die ermittelten Werte auch in Form von Isodosen dargestellt, wie sie in der Therapie üblich sind, also eine Verbindung aller Punkte hergestellt, an denen die gleiche Dosis erreicht wird (Abb. 13 - 15). Diese Isodosenlinien zeigen ebenfalls eindeutig, daß das Dosismaximum unter allen Aufnahmebedingungen an der Oberfläche im Bereich des Zentralstrahles liegt. Insgesamt zeigen sich beim Vergleich der Isodosenlinien des Stehfeldes mit denen unter Schichtbedingung ebenfalls keine wesentlichen Unterschiede. Lediglich die Linien im Bereich der Peripherie weisen etwas stärkere Ausbuchtungen auf. Bei 130 kV ist die Ausbuchtung stärker als bei 80 kV. Daß der Absolutwert der höchsten Isodose bei 80 kV höher ist als bei 130 kV, ist nach der ersten Form der Darstellung der Meßergebnisse ohnehin zu erwarten. Beim Polytome zeigt sich wieder die hohe Oberflächendosis. Die Isodosen liegen in der Tiefe des Phantoms dichter zusammen, reichen aber teilweise weiter in die Peripherie, ohne dabei eine stärkere Ausbuchung aufzuweisen.

VI. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

1.) Überblickt man die dargestellten Dosiskurven und Isodosenlinien, so kann man im großen und ganzen sagen, daß die Dosisverteilung in allen Fällen sich nicht grundlegend von der unterscheidet, wie sie z.B. aus den Kurven von WACHSMANN (33) und den Veröffentlichungen von CEN und FRIK (9), JOHNSEN (21), SEELENTAG und KLOTZ (41) u.a. für Stehfelder bekannt sind, sofern man die differenten Versuchsbedingungen berücksichtigt. Bei genauem Vergleich

ergeben sich allerdings gewisse Unterschiede zwischen Stehfeld und Schichtung, die sich naturgemäß am deutlichsten in den röhrennahen Objektpartien zeigen, während in den tieferen Partien durch die bis dahin erfolgte Schwächung der Strahlen und das Hinzutreten der Streustrahlung ein weitgehender Ausgleich erfolgt ist. Im einzelnen zeigt sich bei den Untersuchungen am Planigraphen bei 80 kV wie bei 130 kV, daß bei der Schichtung in den oberen Partien höhere Werte gemessen werden. Dies ist ohne weiteres dadurch erklärlich, daß während des größten Teiles der Expositionszeit ein größerer Fokus-Filmabstand vorliegt als beim Stehfeld. Diese Tatsache ist auch aus der Praxis bekannt, wo die Regel gilt, daß bei Schichtaufnahmen ein um etwa 30 % höheres mAs-Produkt benötigt wird als bei Übersichtsaufnahmen unter gleichen Bedingungen.

Der Bereich der höchsten Dosis stellt den Bereich dar, der während der gesamten Röhrenbewegung und damit der Exposition im Bereich der Direktstrahlung liegt. Beim Horizontalplanigraphen ist dieser Bereich um so größer, je näher die Schichtebene bei der von der Röhre abgekehrten Objektseite liegt. Denn damit verkleinert sich auch der Pendelwinkel. Außerdem ändert sich bei Änderung der Schichthöhe auch der Bereich nach der Peripherie zu, der während der Exposition eine gewisse Zeit im Bereich der Direktstrahlung liegt und zwar vergrößert er sich, wenn die Schichtebene nahe der Unterseite liegt, in den oberen, also den röhrennahen Objektpartien, während er sich mit röhrenwärts wandernder Schichtebene in die unteren Objektpartien verlagert. Insgesamt ist er bei der Schichtung immer größer als beim Stehfeld. Jedoch ist die Dosis in diesen lateralen Bereichen nie so groß wie im Zentrum, da sie immer nur bei schrägstehender Röhre, also bei größerem Fokus-Objektabstand als in Mittelstellung, von Strahlung getroffen werden.

Der eigentümliche Verlauf der Dosis in den röhrennahen Phantompartien bei einer eingestellten Schichthöhe von 3 cm, d.h. der Gipfel im Zentrum und das allmähliche Abfallen nach der Peripherie zu, zeigt deutlich das Zusammenwirken dieser Effekte. Je röhrennäher die Schichtebene liegt, desto mehr ähneln die Ver-

hältnisse auf der Strahleneintrittsseite dem Stehfeld. Aus diesen Gründen liegt also je nach Schichthöhe ein anderer Dosisabfall nach der Peripherie zu vor und deshalb sind auch die Streustrahlenwerte in der nahen Peripherie immer etwas höher als beim Stehfeld. Im Streustrahlenbereich in größerer Entfernung von der Direktstrahlung bestehen keine meßbaren Dosisunterschiede mehr zwischen Stehfeld und Schichtaufnahmen. Diese Folgerungen lassen sich sowohl aus den Dosiskurven wie auch aus den Isodosenlinie ziehen. Zwischen den Untersuchungsergebnissen bei 80 kV und 130 kV bestehen keine prinzipiellen Unterschiede. Die geringere Absoluthöhe der Dosis im Direktstrahlenbereich bei 130 kV gegenüber der bei 80 kV bei gleicher Filmdosis ist ein bekannter Effekt der sogenannten Hartstrahltechnik. Der Dosisabfall nach der Peripherie zu ist bei 130 kV etwas flacher, d.h. die Reichweite auch der Streustrahlen relativ etwas weiter. Jedoch ist die Absoluthöhe der Streustrahlen in größerer Entfernung vom Direktstrahlenbereich bei 130 kV immer noch geringer als die bei 80 kV. Vergleicht man die Ergebnisse zwischen dem Planigraphen und dem Polytome bei 9,5 cm Schichthöhe und einer Röhrenspannung von 80 kV, so kann festgestellt werden, daß beim Polytome einmal die Oberflächendosis höher ist, daß der Abfall der Dosis von Meßschicht zu Meßschicht größer ist, was durch das Zusammenrücken der Isodosenlinien besonders deutlich wird und weiterhin, daß der Bereich gleicher Dosishöhe auf der Oberfläche größer ist und der Abfall nach der Peripherie zu steiler. Die Dosis in 17 cm Wassertiefe ist in beiden Fällen nahezu gleich. Auch diese Unterschiede sind durch geometrische Gegebenheiten bedingt. Die höhere Oberflächendosis und der stärkere Dosisabfall innerhalb des Phantoms erklären sich durch den geringen Fokus - Objekt-Abstand entsprechend dem Quadratgesetz der Entfernung. Der große Bereich homogener Dosisbelegung auf der Oberfläche und der steilere Abfall nach der Peripherie zu beruhen auf der kreisbogenförmigen Bewegung der Röhren, durch die der Abstand-Fokus-Objekt während der Bewegung stets gleich bleibt. Die annähernd gleiche Dosis in 17 cm Wassertiefe bzw. damit eine praktisch gleiche Aus-

trittsdosis, die trotz größeren Objekt-Film-Abstandes beim Polytome zur gleichen Filmdosis führt, ist eine Folge des geringeren Verlängerungsfaktors für das Streustrahlenraster im Polytome.

Beim Polytome ändert sich mit Änderung der Schichthöhe aber die Dosisbelastung wesentlich. Je näher die Schichtebene der röhrenfernen Seite des Objekts liegt, desto näher ist das Objekt an der Röhre, desto höher wird die Dosis der Oberfläche und desto größer der röhrennahe Bereich, der einer direkten Bestrahlung ausgesetzt ist. Da die Strahlung in den röhrennahen Objektpartien höher ist als in den röhrenfernen, werden dadurch die Verhältnisse ebenfalls ungünstiger. Je oberflächennäher die Schichtebene liegt, desto geringer wird die Strahlenbelastung und desto mehr ähneln auch hier die Dosisverhältnisse denen bei stehender Röhre.

2.) Zusammenfassend kann auf Grund der vorliegenden Untersuchung also gesagt werden, daß bei Schichtaufnahmen keine wesentliche andere Dosisverteilung vorliegt als bei Aufnahmen mit stehender Röhre unter gleichen Bedingungen. Es tritt lediglich im Zentrum des Direktstrahlenbereichs eine etwa 30 %ige Erhöhung der Dosis auf der Oberfläche auf. Eine darüber gehende Erhöhung der Volumendosis ergibt sich ebenfalls nicht. Irgendein Bezirk mit einer größeren Dosiskonzentration oder gar eines Dosismaximums innerhalb des Körpers, etwa in der Schichtebene, wurde nicht gefunden. Die von PALMIERI angeführte Analogie der Bewegungsbestrahlung und der Schichtaufnahmetechnik bezieht sich somit lediglich auf gewisse technische Ähnlichkeiten in der konstruktiven Ausführung der Geräte, nicht aber auf die Dosisverteilung. Die bei der Besprechung der Bewegungsbestrahlung angestellten Überlegungen, daß bei der Schichtaufnahme die höchste Dosis auf der Oberfläche zu erwarten sei, wurde durch die Versuchsergebnisse bestätigt. Ebenso konnte eine Übereinstimmung der Dosisverteilung beim Stehfeld mit den Ergebnissen anderer Autoren festgestellt werden. Eine besondere Gefährdung hinsichtlich der Strahlenbelastung durch Schichtunter-

suchungen im Bereich des bestrahlten Volumens kann ebenso ausgeschlossen werden wie nach den Untersuchungen von SEELENTAG und Mitarbeiter (39) und SHEN [1] im Bereich der Gonaden des Patienten.

Als weitere Erkenntnisse für die Praxis kann noch erwähnt werden, daß am Planigraphen die eingestellte Schichthöhe auf die Strahlenbelastung keinen Einfluß hat, dagegen ist es beim Polytome vom Gesichtspunkt der Strahlenbelastung aus günstiger, den Patienten so zu lagern, daß die zu untersuchenden Partien der Röhre zugekehrt liegen. Da die Objekt-Film-Entfernung hiervon nicht beeinflußt wird, ist dies aus aufnahmetechnischen Gründen auch ohne weiteres möglich.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren befassen sich zahlreiche Veröffentlichungen im Fachschrifttum und auch in der Allgemeinpresse mit der Schädigungsmöglichkeit des Menschen durch ionisierende Strahlen. Dabei wird immer wieder festgestellt, daß röntgendiagnostische Maßnahmen zu einem hohen Prozentsatz an der Gesamtbelastung der Bevölkerung mit ionisierenden Strahlen beteiligt sind. Auch genauere, teils auf Messungen, teils auf Schätzungen beruhende Angaben über die Strahlenbelastung durch Röntgenuntersuchungen allgemein oder durch die verschiedenen Routineuntersuchungen sind Gegenstand vieler Veröffentlichungen. Lediglich für Spezialuntersuchungen liegen noch wenig derartige Angaben vor. Dabei sind diese Spezialuntersuchungen an großen Röntgeninstituten, an denen ein Großteil aller Röntgenuntersuchungen überhaupt ausgeführt wird, gar nicht so selten. Die vorliegenden Untersuchungen befassen sich daher mit der Strahlenbelastung bei Röntgenschichtuntersuchungen, einer der am häufigsten ausgeführten Spezialuntersuchungen. Dabei sollte festgestellt werden, ob mit dieser Untersuchungsart eine wesentlich höhere Strahlendosis verab-

---

1) Inauguraldissertation München 1960: Untersuchung über den Anteil der Röntgenschichtdarstellung an der Strahlenbelastung der Bevölkerung durch röntgendiagnostische Maßnahmen.

reicht wird als bei Routineaufnahmen und vor allem, ob bei diesem Verfahren eine andere räumliche Verteilung der Dosis vorliegt, die möglicherweise zu einer Konzentration der Dosis an irgendeiner Stelle im Körper führen könnte.

Nach einer einleitenden Besprechung der Problemstellung und der bis jetzt vorhandenen Literatur über die räumliche Verteilung der Dosis bei Routineaufnahmen und bei der diesen vergleichbaren röntgentherapeutischen Verfahren erfolgt zunächst eine Beschreibung der theoretischen Grundlagen des Röntgenschichtverfahrens. Sodann werden die beiden zur Untersuchung verwendeten Schichtgeräte Planigraph und Polytome näher erläutert. Aus der Beschreibung des Röntgenschichtverfahrens läßt sich erkennen, daß gewisse Gemeinsamkeiten mit den modernen röntgentherapeutischen Verfahren der Bewegungsbestrahlung bestehen, mit denen eine vom Stehfeld abweichende räumliche Dosisverteilung erreicht werden kann. Dies führte auch schon zu dem Gedanken, daß zwischen der Dosisverteilung bei Übersichtsaufnahmen und der bei Schichtaufnahmen ähnliche Unterschiede bestehen. Jedoch konnte bereits auf Grund theoretischer Überlegungen gezeigt werden, daß dies nicht der Fall sein kann.

Die Untersuchungsergebnisse wurden durch direkte Ionisationsmessungen in einem Wasserphantom gewonnen. Dabei wurde die Medianebene in Richtung der Röhrenbewegung des ganzen direkt bestrahlten Raumes und des ebenso großen anschließenden Streustrahlenbereiches in Abständen von je 2 cm senkrecht und seitlich zur Strahleneinfallsrichtung ausgemessen. Es wurden zwei Strahlenqualitäten (80 und 130 kV) verwendet und je eine Bestimmung bei Stehfeldbedingungen und eingestellten Schichthöhen von 3, 9 1/2 und 16 cm Schichthöhe vorgenommen. Sodann wurde eine Vergleichsmessung bei 80 kV und der mittleren Schichthöhe am Polytome durchgeführt. Als Bezugsdosis wurde sämtlichen Meßergebnissen die Dosis 1 Milliröntgen in der Filmebene zugrunde gelegt. Als Dosismeßinstrument dienten Kleinkammern und ein Kondiometer.

Dabei zeigte sich, daß bei Schichtaufnahmen keine grundsätzlich andere Dosisverteilung vorliegt als bei Übersichtsaufnahmen unter gleichen Bedingungen. Die höchste Dosis tritt auch hier auf der Oberfläche auf. Eine Dosiskonzentration innerhalb des bestrahlten Volumens ergibt sich nicht. Die Oberflächendosis ist bei Schichtaufnahmen in einem gewissen Bereich etwa 30 % höher als bei Übersichtsaufnahmen. Die Volumendosis ist jedoch nicht wesentlich erhöht. Diese Ergebnisse treffen für beide Strahlenqualitäten zu.

Zwischen den Ergebnissen beim Planigraphen und dem Polytome bestehen gewisse Unterschiede hinsichtlich der Dosishöhe, des Verlaufs der Dosis auf der Oberfläche und des Dosisabfalls nach der Peripherie zu. Sie sind auf die konstruktiven Unterschiede beider Geräte - geringerer Fokus - Objekt-Abstand, kreisbogenförmige Bewegung von Röhre und Film beim Polytome gegenüber Bewegung auf parallelen Geraden beim Planigraphen - zurückzuführen.

Insgesamt konnte durch die Versuche am Wasserphantom festgestellt werden, daß Schichtaufnahmen keine größere Strahlenbelastung darstellen als die Übersichtsaufnahmen mit stehender Röhre, bei gleicher Größe des Bildes.

S c h r i f t t u m

1. Andrews, J.R.: Planigraphy I; Introduction and History. Amer. J. Roentgenol. 36 (1936): 575.

2. Andrews, J.R. und Stava, R.J.: Planigraphy II. Amer. J. Roentgenol. 38 (1937): 145.

3. Andrews, J.R.: Body section roentgenography. In: Medical Physics, herausgeg. v. O. Glasen, Year Book Publ. Inc. Chicago 1944.

4. Backlund, V.: Über die Technik der simultanen Telefilmplanigraphie. Acta radiol., Suppl. 137 (1956)

5. Becker, H.R., Dresel H., Melsching, H.J.: Leitfaden des Strahlenschutzes für Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. Thieme-Verlag, Stuttgart.

6. Becker, R.: Das Simultanschichtverfahren. Tbk. Arzt 12 (1958): 95.

7. Brit. Medical Research Council: The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations. London (1956).

* 8. Bunde, E.: In "Medizinische Röntgentechnik" v. H. Schoen, II. Physikalisch-Technischer Teil. Thieme-Verlag, Stuttgart (1958)

9. Cen, M. und Frik, W.: Raumdosis und Keimdrüsendosis bei verschiedenen Strahlenqualitäten in der Röntgendiagnostik. Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958): 465.

10. Chaoul, H. und Wachsmann, F.: Die Nahbestrahlung. Thieme-Verlag, Stuttgart (1953)

11. Gajewski, H.: Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten des Simultanschichtverfahrens. Röntgen- und Laborpraxis 9 (1956): 265.

12. Grebe, L. und Wiebe, W.:
Tabellen zur Dosierung der Röntgenstrahlen.
Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin (1950).

13. Griesbach, R. und Kemper, F.:
Röntgenschichtverfahren.
Thieme-Verlag, Stuttgart (1955).

14. Grossmann, G.: Praktische Voraussetzungen für die Tomographie.
Fortschr. Röntgenstr. 52, Beiheft (1935): 28.

15. Grossmann, G.: Tomographie I und II. Fortschr. Röntgenstr. 51 (1935): 61, 191.

16. Haas: Beschreibung eines neuen tomographischen Systems.
Fortschr. Röntgenstr. 68 (1943): 156.

17. Hammer-Jacobson, E.: Gonadendose I Diagnostik Radiologi.
Ugeskrift for Laeger 119 (1957): 279.

18. Holfelder, H.: Die Röntgentiefentherapie.
Thieme-Verlag, Leipzig 1938.

19. International Commission on Radiological Protection:
Exposure of Man to ionizing Radiation arising from Medical Procedures.
Phys. in Med. and Biol. 2 (1957): 107.

20. Janker, R.: Anwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse des Röntgenschichtverfahrens.
Fortschr. Röntgenstr. 54 Kongr.-H. (1936): 90.

21. Johns, H.E.: The Physics of Radiation Therapy.
Springfield (1953).

22. Kieffer, J.: Analysis of laminagraphic Motions and their Values.
Radiology 33 (1939): 560.

23. Kieffer, J.: General Principles of section radiography.
Radiol. Clin. Photogr. 19 (1943): 2.

* 24. Klotz, E. und Seelentag, W.:
Untersuchungen zur Belastung der Keimdrüsen durch Hartstrahldiagnostik.
Fortschr. Röntgenstr. 89 (1958): 92.

25. Kohl, M.:
Halte- und Stellvorrichtung für Röntgenröhren.
DRP 192571 (1906).

26. Kohler, A.:
Chirurgisch wichtige Fortschritte in der Strahlenbehandlung tiefgelegener Erkrankungen.
Zbl. Chir. 43 (1938): 2393.

27. Krönig u. Friedrich: Physikalische und biologische Grundlagen der Strahlentherapie.
Verlag Urban und Schwarzenberg (1918).

28. Larsson, L.-E.:
Radiation doses to the Gonads of partients in Swedish roentgen diagnostic.
Acta Radiol. Suppl. 157 (1958).

29. Laughlin, I.S. und Pullman, I.:
Nat. Acad. Science.
Washington 1957.

30. Liess, G.:
Das Simultanschichtverfahren und seine Anwendung in der Röntgendiagnostik.
Dtsch. Ges.wes. 21 (1956): 693.

31. Mayneord, W.V.:
Energy absorption.
Brit. J. Radiol. 13 (1940): 235.

32. Mohr, H.:
Über Messungen der Gonadendosis bei Patienten in der Röntgendiagnostik.
Strahlentherapie 106 (1958): 80.

33. Neumann, W. und Wachsmann, F.:
Über die Rotationsbestrahlung mit extrem kleinen Feldern.
Strahlentherapie 74 (1944): 340.

34. Osborn, S.B. und Smith, E.E.:
The Genetically Significant Radiation Dose from the Diagnostic use of x-Rays in England and Wales..
A Preliminary Survey.
Lancet 270 (1956): 949.

35. Otto, W.:
Vorrichtung zur Ausführung von Tiefenbestrahlung. DRP 296657 (1913).

36. Rajewski, B.: Strahlendosis und Strahlenwirkung. Thieme-Verlag, Stuttgart (1956).

* 37. Seelentag, W.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin. Strahlenther. 104 (1957): 182.

* 38. Seelentag, W.: Zur Wellenabhängigkeit verschiedener Ionisationskammern. Fortschr. Röntgenstr. 89 (1958): 753.

* 39. Seelentag, W., v. Arnim, D., Klotz, E. und Numberger, J.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin. Strahlenther. 105 (1957): 169.

II. Teil: Messungen über die bei röntgendiagnostisch Untersuchten an die Gonaden gelangenden Dosen.

* 40. Seelentag, W. und Faltenbacher, K.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin.

III. Teil: Die Strahlenbelastung durch Röntgendiagnostik in großen gemeindlichen sowie in Urologischen Kliniken. Strahlenther. 107, Heft 3 (1958).

* 41. Seelentag, W. und Klotz, E.: Die Streustrahlung im Körper bei Strahlenqualitäten von 50-200 kV Erzeugespannung. Strahlenther. 108, Heft 1 (1959).

* 42. Stieve, F.E.: La technique de radiographie en coupe et les diverses modes d'effacement. J. Radiol. 38 (1957): 49.

43. Tobb: Le Polytome de MM. Sans et Porcher. J. Radiol. 31 (1950): 300.

44. Vieten, H.: Verfahren zur Herstellung von Körperschichtaufnahmen in beliebig gestellten und beliebig gestalteten Schichten. Fortschr. Röntgenstr. 62 (1940): 322.

45. Vieten, H.: Geometrische Betrachtungen zum Problem der Tomographie. Fortschr. Röntgenstr. 67 (1943): 34.

46. Vieten, H.: Untersuchungen über die darstellbare Schicht bei Anfertigung von Körperschichtaufnahmen mittels gegenläufiger Parallelverschiebung von Röhre und Bildschicht. Röntgenpraxis 1 (1948): 50-60.

47. Vieten, H.: Grundlagen und Möglichkeiten der Röntgendarstellung transversaler Körperschichten. Fortschr. Röntgenstr. 72 (1952): 383.

48. Vieten, H.: Über die Möglichkeiten der Röntgendarstellung isolierter Körperschichten. Dtsch. med. Rdsch. 3 (1949): 30.

* 49. Widenmann, L.: Vergleichende Untersuchungen über Bildqualität und Dosisbedarf bei Simultan- und Einzelschichtaufnahmen. Fortschr. Röntgenstr. 89 (1958): 614.

50. Ziedses des Plantes, B.G.: Eine neue Methode zur Differenzierung in der Röntgenographie (Planigraphie). Acta radiol. 13 (1932): 182-191.

51. Ziedses des Plantes, B.G.: En bijzondre Methode voor hetmaken van Röntgenphotos van schedel en wervelkom. Nederl. Tschr. Geneesk. 75 (1931): 5218.

* Die angekreuzten Arbeiten entstammen dem Arbeitskreis des Rieder-Instituts.

Herrn Professor Dr. H. v. BRAUNBEHRENS sei an erster Stelle für die kritische Durchsicht der Arbeit gedankt.

Es ist mir ein aufrichtiges Bedürfnis, Herrn Priv. Doz. Dr. F. E. STIEVE für die Überlassung des Themas sowie die Erstattung des Referates meinen besonderen Dank auszusprechen.

Für die Anregung, Unterstützung und Beratung, die mir bei der Durchführung dieser Arbeit jederzeit gewährt wurden, schulde ich Herrn Priv. Doz. Dr. F. E. STIEVE und Fräulein L. WIDENMANN herzlichen Dank.

L e b e n s l a u f

Am 18. 11. 1927 wurde ich als Sohn des Facharztes für Röntgenologie und Strahlenheilkunde Dr. med. Ferdinand Klems und seiner Ehefrau Hedwig Klems in Dortmund geboren. Von 1934 bis 1938 besuchte ich hier die Volksschule. Nach Unterbrechung des Schulbesuches durch Krankheit wechselte ich zur Staatlichen Oberschule Marquartstein in Oberbayern. Von hier wurde ich 1944 zum Arbeitsdienst und anschließend zum Militär einberufen. Am 14. 6. 1945 konnte ich aus der Gefangenschaft nach Dortmund zurückkehren. 1946 nahm die Staatliche Oberschule in Marquartstein den Schulbetrieb wieder auf und ich kehrte an meine alte Schule zurück. Dort legte ich 1948 meine Reifeprüfung ab. Im Sommer 1949 begann ich mein Medizinstudium an der Universität München. Nach dem Physikum 1951 wechselte ich an die Universität Freiburg und kehrte nach zwei Semestern wieder an die Universität München zurück. 1954 legte ich dort das Staatsexamen ab. Anschließend war ich bis 1956 am Pathologischen Institut der Universität München tätig. Meine interne Pflichtassistentenzeit absolvierte ich an der I. Medizinischen Klinik der Universität München. Hiernach begann ich meine Fachausbildung am Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München, dem Rieder-Institut, wo ich seit 1957 tätig bin. Vom 1. November 1960 bis 28. Februar 1961 nahm ich an dem Strahlenschutzkurs des Deutschen Roten Kreuzes teil.